

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE**  
**CAMPUS DE SOROCABA**  
**DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**

**VICTOR LUCAS PEDROSO ALVES**

**MODELO DE REDES E REGRESSÃO QAP EM MERCADO COM  
INTERMEDIÁRIOS: CASO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO**

Sorocaba  
2012

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE**  
**CAMPUS DE SOROCABA**  
**DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**

VICTOR LUCAS PEDROSO ALVES

**MODELO DE REDES E REGRESSÃO QAP EM MERCADO COM  
INTERMEDIÁRIOS: CASO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, para obtenção do grau de bacharel em Ciências Econômicas.

Orientação: Prof. Dr. Geraldo Edmundo Silva Junior.

Sorocaba  
2012

Alves, Victor Lucas Pedroso  
Modelo de Redes e Regressão QAP em Mercado com  
Intermediários: Caso do Setor Elétrico Brasileiro / Victor Lucas  
Pedroso Alves. -- Sorocaba, 2012  
60 f. : il. ; 28 cm

Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharelado em Ciências  
Econômicas - UFSCar, *Campus* Sorocaba, 2012.  
Orientador: Geraldo Edmundo Silva Junior  
Banca examinadora: Mariusa Momenti Pitelli, Rosane Nunes de  
Faria  
Bibliografia

1. Leilões. 2. Setor Elétrico Brasileiro. 3. Redes. I. Título. II.  
Sorocaba-Universidade Federal de São Carlos.

CDD 330

**VICTOR LUCAS PEDROSO ALVES**

**MODELO DE REDES E REGRESSÃO QAP EM MERCADO COM INTERMEDIÁRIOS:  
CASO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, para obtenção do grau de bacharel em Ciências Econômicas.  
Universidade Federal de São Carlos. Sorocaba, 11 de dezembro de 2012.

Orientador(a)

---

Dr. Geraldo Edmundo Silva Jr.  
Universidade Federal de São Carlos – *Campus* Sorocaba

Examinador(a)

---

Dra. Mariusa Momenti Pitelli  
Universidade Federal de São Carlos – *Campus* Sorocaba

Examinador(a)

---

Dra. Rosane Nunes de Faria  
Universidade Federal de São Carlos – *Campus* Sorocaba

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a toda minha família, principalmente à minha mãe, Nanci, e meu pai, Mauro, pelo carinho e amor sempre presentes. Ao meu orientador, Prof. Dr. Geraldo, que dedicou seu tempo às diversas discussões e ensinamentos, tanto para o desenvolvimento deste trabalho como para demais assuntos, sempre muito paciente e atencioso. Sem se esquecer, é claro, dos seus valiosos conselhos que vou levar para o resto da minha carreira.

A minha irmã, aos meus avós, tios, tias e minha namorada que sempre me acompanharam nos diversos momentos da minha vida.

Aos meus amigos, pois foram quatro anos de amizade, com dificuldades, confusões e muitas risadas que permanecerão para sempre na minha memória.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida, pela família e por tudo.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Geraldo Edmundo Silva Junior, pelas imensuráveis contribuições para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Agradeço ao CNPq pelo auxílio financeiro durante minha iniciação científica que foi a base para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a todos os professores do curso de Economia da UFSCar Sorocaba que transmitiram seu conhecimento e contribuíram para a minha formação.

## RESUMO

ALVES, Victor Lucas Pedroso. *Modelo de Redes e Regressão QAP em Mercado com Intermediários: Caso do Setor Elétrico Brasileiro*. 2012. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Centro de Ciências e Tecnologias para Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2012.

A construção e o estudo da estrutura topológica da rede formada pelos agentes envolvidos na comercialização de energia elétrica no Brasil são importantes para compreender o padrão das redes de relacionamento entre eles, possibilitando o entendimento de como alterações na estrutura da rede importam, além de permitir a análise do comportamento dos indivíduos com a rede alterada. O objetivo foi construir e estudar os leilões ocorridos a partir de 2010 através de sua estrutura topológica. Desta forma, a obtenção de coeficientes de densidade de blocos ou médias, medida do grau dos vértices, estimativa do grupo de centralidade, distância, entre outros, foram calculados. Utiliza-se o modelo de regressão QAP para regredir as estruturas de cada um dos leilões em função dos leilões anteriores, visando à obtenção da correlação entre os agentes e entre as estruturas formadas em cada leilão. O modelo enfatiza a posição das empresas que apresentam importância na conectividade das redes formadas, evidenciando as estratégias dos agentes, principalmente daqueles que apresentam papel centralizador na rede. A maioria dos leilões considerados apresentou baixa densidade, enquanto apenas dois leilões evidenciam uma elevada densidade em função do maior volume de transações realizadas. A partir da estrutura topológica observou-se que o índice de conectividade apontou os leilões de ajuste e os leilões de energia nova como causadores da maior conectividade entre os agentes da rede. As regressões mostraram que os leilões de ajuste apresentaram influência de um leilão no outro, corroborando a hipótese de intermediação no setor. Nos leilões de energia nova e de energia existente, observou-se que a estrutura do mercado e a ocorrência de ciclos econômicos acabam influenciando o comportamento dos agentes. A intermediação no setor elétrico brasileiro tornou-se um importante instrumento de ajuste do mercado que ainda busca consolidação através dos leilões. Dado a sua dinâmica, apresenta-se uma tendência de aumento de agentes integrantes do mesmo permitindo melhores estimativas e resultados.

Palavras-chave: Leilões. Setor elétrico brasileiro. Redes. Regressão QAP.

## ABSTRACT

The built and the study of the topologic structure of a net composed by agents involved in the negotiation of energy in Brazil are important to understand the pattern of relationships between them, allowing the understanding of how changes in the net are important and how they behave in a changed structure. The objective was study the auctions held from 2010 through its topological structure. Density coefficients of blocks or means, degree measure of vertices, estimation of the central group, distance are calculated. The Quadratic Assignment Procedure (QAP) model is used to regresses one auction on the basis of the previous auction, aiming to obtain the correlation between agents and between the structures formed in each auction. The model considers the position of the agents that show connectivity significance in nets, especially those which has central importance in that. While most auctions had low density, only two auctions presented a high density due to a high volume of transactions. From the topological structure, the connectivity index pointed that the adjustment and new energy auctions were responsible for the highest connectivities. The adjustment auctions, in the regressions, presented influences of each other, corroborating the sector intermediation hypothesis. The existing energy auctions and new energy auctions presents influences of the market structures and economic cycles in the agents' behavior. So, the intermediation in Brazilian electricity sector has become an important tool for market adjustment and seeks for consolidation through auctions. Given market dynamics, it has tendency to increase market members allowing better estimates and results.

Keywords: Auctions. Brazilian electric sector. Nets. QAP Regression.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rede em que os compradores avaliam os bens <i>a</i> , <i>b</i> e <i>c</i> .....	23
Figura 2 – Rede em que as tarifas ajustam o mercado.....	23
Figura 3 – Rede em que as tarifas não ajustam o mercado.....	24
Figura 4 – Redes em que as tarifas ajustam o mercado com a intermediação.....	24
Figura 5 – Rede em que o intermediário influencia e coordena as negociações.....	25
Figura 6 – 10º Leilão de Ajuste.....	33
Figura 7 – 11º Leilão de Ajuste.....	33
Figura 8 – 12º Leilão de Ajuste.....	34
Figura 9 – 13º Leilão de Ajuste.....	34
Figura 10 – 9º Leilão de Energia Existente.....	35
Figura 11 – 10º Leilão de Energia Existente.....	35
Figura 12 – 11º Leilão de Energia Nova.....	36
Figura 13 – 12º Leilão de Energia Nova.....	36
Figura 14 – 13º Leilão de Energia Nova.....	37

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Modelos do Setor Elétrico Nacional.....	11
Quadro 2 – Resultados Regressão QAP ( <i>Y Permutation</i> ).....	37
Quadro 3 – Resultados Regressão QAP <i>Semi-Partialling</i> .....	38
Quadro 4 – Resultados Regressão QAP <i>Double Dekker Semi-Partialling</i> .....	38
Quadro 5 – Resultados Regressão QAP <i>Full Partialling</i> .....	38
Quadro 6 – Estrutura Topológica das Redes: Leilões de Ajuste.....	39
Quadro 7 – Estrutura Topológica das Redes: Leilões de Energia Existente.....	39
Quadro 8 – Estrutura Topológica das Redes: Leilões de Energia Nova.....	39

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>15</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>19</b>
3.1 TEORIA DOS GRAFOS.....	19
3.2 REDES DE JOGOS.....	21
3.3 REGRESSÃO QAP.....	25
3.3.1 MÉTODO ORIGINAL ( <i>Y PERMUTATION</i> ).....	26
3.3.2 <i>SEMI-PARTIALLING</i> .....	29
3.3.3 <i>DOUBLE DEKKER SEMI PARTIALLING – MRQAP</i> .....	29
3.4 DADOS E TRATAMENTO.....	30
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
<b>5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>41</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro é rico em alterações estruturais com vistas à sua adequação às condições do mercado. Historicamente, segundo a CCEE (2010) o início da reforma deu-se em 1993 com a Lei nº 8.631, que extinguiu a equalização tarifária vigente e criou os contratos de suprimento entre geradores e distribuidores, e a promulgação da Lei 9.074 de 1995, que criou o Produtor Independente de Energia e o conceito de Consumidor Livre.

O Quadro 1 mostra o Modelo Antigo, o Modelo de Livre Mercado e o Novo Modelo. É possível observar as características específicas dos três modelos estruturais adotados, além da possibilidade de compará-los.

QUADRO 1–Modelos do Setor Elétrico Nacional

<b>Modelo Antigo (até 1995)</b>	<b>Modelo de Livre Mercado (1995 a 2003)</b>	<b>Novo Modelo (2004)</b>
Financiamento através de recursos públicos.	Financiamento através de recursos públicos e privados.	Financiamento através de recursos públicos e privados.
Empresas verticalizadas.	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição e comercialização.	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição, comercialização, importação e exportação.
Empresas predominantemente estatal.	Abertura e ênfase na privatização das empresas.	Convivência entre empresas estatais e privadas.
Monopólios – Competição Inexistente.	Competição na geração de comercialização.	Competição na geração de comercialização.
Consumidores cativos.	Consumidores livres e cativos	Consumidores livres e cativos.
Tarifas reguladas em todos os segmentos.	Preços livremente negociados na geração e comercialização.	Ambiente livre: preços livremente negociados na geração e comercialização; Ambiente regulado: leilão e licitação pela menor tarifa.
Mercado regulado.	Mercado livre.	Mercado livre e regulado.
Planejamento Determinativo – Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos.	Planejamento Indicativo pelo Conselho Nacional de Pesquisa Energética (CNPE).	Planejamento pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).
Contratação: 100% do mercado.	Contratação: 85% do mercado (até Ago/2003) e 95% do mercado (até Dez/2004).	Contratação: 100% do mercado + reservas.
Sobras/Déficit do balanço energético rateados entre compradores.	Sobras/Déficit do balanço energético liquidados no Mercado Atacadista de Energia.	Sobras/Déficit do balanço energético liquidados na CCEE. Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficits (MCSO) para as distribuidoras.

Fonte: CCEE – <http://www.ccee.org.br/>

Até 1995, o Modelo Antigo, era caracterizado pela inexistência de competição. O financiamento do mercado se dava através de recursos públicos uma vez que as principais empresas participantes eram estatais. Os consumidores eram cativos e as tarifas reguladas em todos os segmentos. O mercado deveria ser totalmente contratado e as sobras e déficits eram rateados entre os compradores, não havendo, até então, preocupação com possíveis reservas.

No ano de 1996 foi implantado o Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia. O projeto programou a desverticalização das empresas de energia elétrica nos segmentos de geração, transmissão e distribuição, sob a regulação do Estado. Assim, o setor elétrico brasileiro passou por inúmeras transformações e no final dos anos 90, observou-se a necessidade de privatizações como nova forma de se conduzir importantes mercados, incluindo-se os chamados estratégicos como telefonia e energia.

O modelo de Livre Mercado, vigente entre 1995 e 2003, apresentava diferenças em relação ao Modelo Antigo. As empresas passaram a ser divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição e comercialização. Além da ênfase na privatização de empresas, se observa o surgimento do conceito de consumidores livres.

Durante os anos de 2003 e 2004, o Governo Federal lançou as bases de um novo modelo para o setor, sustentado pelas Leis nº 10.847 e 10.848, de 15 de março de 2004; e pelo Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. O chamado Novo Modelo, então, definiu um novo arcabouço institucional a partir da criação de uma entidade responsável pelo planejamento do setor elétrico em longo prazo, a Empresa de Pesquisa Energética, uma instituição com a diretiva de avaliação do suprimento de energia elétrica. Da mesma forma, foram criados o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), responsável pela continuidade das atividades do Mercado Atacadista de Energia, que atuava diante das transações ocorridas no mercado.

Com tal estrutura institucional o setor elétrico visa três objetivos: garantir a segurança do fornecimento de energia elétrica; promover a modicidade tarifária; e a inserção social pela universalização do atendimento. Foram instituídos dois ambientes para a celebração de contratos de compra e venda de energia: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), do qual participam os agentes de geração e de distribuição; e o Ambiente de Contratação Livre (ACL), do qual participam os agentes de geração, comercialização, importação, exportação e consumidores livres. No ACR o resultado das empresas é obtido através dos leilões, que

ficam sob a responsabilidade da CCEE que age como intermediador para viabilizar o comércio. Já no ACL a negociação entre as empresas é livre.

As regras para o funcionamento do mercado de energia elétrica diferem daquelas dos demais mercados, mesmo em termos de infraestrutura. Segundo Castro (2009) as mudanças no modelo energético trouxeram novas regras para as empresas, entre as quais se destacam as regras de comercialização de energia elétrica.

Em um novo ambiente como este, as empresas de distribuição de energia elétrica atendem suas demandas esperadas, principalmente, através de contratos de longo prazo. Para tais empresas, as estratégias de participação são baseadas nos três tipos de leilões de energia: A-1, A-3 e A-5; ou seja, no tempo para o recebimento da energia contratada após a realização do leilão, um, três ou cinco anos, respectivamente. Para Castro (2009), então, a maioria das empresas optou por contratar no leilão de energia existente.

Com base em simulações, Castro *et al* (2009) concluíram que à medida que o número de agentes se eleva, os preços praticados nos leilões tendem a reduzir devido à maior competitividade entre os agentes e o maior risco de ficarem descontratados.

O mercado de energia elétrica, portanto, apresenta uma dinâmica peculiar onde os 2.362<sup>1</sup> agentes estão conectados em uma rede denominada mercado de energia e são divididos nas categorias de autoprodutor, comercializador, consumidor especial, consumidor livre, distribuidor, gerador e produtor independente.

Até a presente data foram realizados 13 leilões de energia nova, 13 leilões de ajuste e 10 leilões de energia existente, em que os agentes interagiram sob a intermediação da CCEE. Logo, a opção de posicionamento dos agentes como vendedores ou compradores possibilita o estudo da estrutura da rede formada, simulando desvios no comportamento das empresas e, até mesmo, estratégias na rede de jogos formada nos leilões.

Além dos Leilões de Ajuste, de Energia Nova e de Energia Existente, é possível encontrar informações sobre outros tipos de leilões, como por exemplo, Leilões de Certificados, Leilões de Compra, Leilões de Energia Reserva, Leilões de Excedente, Leilões de Fontes Alternativas, entre outros. Isto mostra a complexidade e abrangência do mercado, bem como a sua grande dinâmica que não restringe a negociação de energia apenas a um tipo de fonte geradora, ou seja, é possível obter informações de leilões que envolvem energia hidrelétrica, eólica, biomassa, entre outras.

---

<sup>1</sup> Dados obtidos a partir do site da CCEE no dia 24 de outubro de 2012.

Sendo assim, os dados disponíveis no site da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, considerados neste trabalho, se restringem apenas aos anos 2010, 2011 e 2012. Uma vez que o Novo Modelo foi adotado em 2004, os primeiros leilões apresentaram poucos participantes que ainda buscavam se adequar ao novo modelo de negociação, além de serem bastante reduzidos os lotes de energia (em megawatt) negociados.

Este trabalho se desenvolve da seguinte maneira: foi feita uma introdução, nesta seção, apresentando um breve histórico do setor elétrico brasileiro; a seção 2 apresenta uma revisão de literatura com diversos exemplos de leilões ocorridos, as experiências de outros países, e os pressupostos adotados para os leilões; a seção 3 trata sobre a metodologia utilizada, que se subdivide em quatro subitens que procuram descrever os principais métodos envolvidos neste trabalho e apresentar os dados considerados; os resultados podem ser observados na seção 4; a seção 5 discute estes resultados; e por fim a seção 6 apresenta as considerações finais deste trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os leilões são uma ferramenta utilizada em diversos setores. Cramton e Wilson (1998) tratam sobre a reestruturação de mercados de energia elétrica nos Estados Unidos, que teve como objetivo a criação de um mercado de energia mais competitivo através dos leilões. Mas, dado a dificuldade de obter um leilão competitivo, diversas práticas e regras devem ser seguidos de forma a minimizar possíveis formações de conluíus, desincentivando determinadas práticas que venham a prejudicar a arrecadação do mesmo, e fazer com que o objetivo principal do leilão seja atingido.

Dado a existência de diferentes tipos de leilões, Klemperer (2002) trata sobre os leilões europeus de março de 2000, no Reino Unido, a setembro de 2001, na Dinamarca. Os leilões europeus ocorreram no mercado de telecomunicações quando foi implementada a rede de terceira geração (3G). O primeiro leilão, ocorrido no Reino Unido, obteve um resultado significativo em relação ao valor arrecadado e ao número de participantes.

Os leilões no setor de telecomunicação tratados por Klemperer (2002) foram realizados, também, na Holanda, Itália, Suíça, Alemanha, Áustria, Grécia, Bélgica e Dinamarca. Diferentemente do leilão realizado no Reino Unido, nos demais países houve uma série de problemas, pois todos buscavam copiar o modelo de sucesso aplicado no Reino Unido. Com exceção da Alemanha, que desenvolveu um modelo de leilão diferente, posteriormente copiado pela Áustria, os demais países europeus não apresentaram resultado significativo, muitas vezes havendo a formação de conluíus entre as empresas que já atuavam no setor, desincentivando a entrada de novas empresas, o que tornaria o mercado mais homogêneo.

A Alemanha ao desenhar um novo mecanismo de realização do leilão, mais complexo que do Reino Unido, também passou por problemas, pois as empresas participantes se comunicavam e poderia facilmente eliminar as empresas entrantes no mercado. A Áustria ao copiar o modelo alemão também fracassou e obteve uma receita muito baixa comparando-se aos modelos de sucesso.

O fracasso dos leilões do ano 2000 gerou uma baixa expectativa para os leilões do ano seguinte, sendo esperada uma renda um décimo menor. Os leilões do ano 2001, que esperavam receitas em torno de 50 Euros *per capita*, foram realizados na Dinamarca, Grécia e Bélgica. A Dinamarca obteve sucesso no seu leilão uma vez que conseguiu manter em segredo as principais informações do leilão, aumentando assim a competitividade do mercado

e atingindo o dobro da receita esperada. Já Grécia e Bélgica não apresentaram resultados significativos.

O setor de ondas de rádio, nos Estados Unidos, também utilizou leilões para a comercialização de licenças referentes à geração de serviços de comunicação sem fio. Cramton (1997) descreve o desenho do leilão e argumenta que o mesmo foi bem sucedido com um comportamento menos agressivo das empresas à medida que os leilões eram realizados, e que no início envolveram centenas de licenças e participantes.

Ao analisar os leilões apresentados por Klemperer (2002) pode-se dizer que o fracasso dos demais países se deu devido à cópia dos modelos de sucesso. Ao observar a sua ocorrência foi possível um estudo detalhado de como o processo dos leilões ocorria. A primeira experiência mostrou os custos de se participar de um leilão competitivo, tornando atrativa a união de empresas, que por sua vez poderia levar a uma menor competitividade. O modelo alemão, copiado pela Áustria, também indicou como as empresas deveriam se comportar durante o leilão. Logo, levando-se em consideração as regras de um leilão que já ocorreu, dificilmente será possível um bom resultado, dado a complexidade das características de cada ambiente e do comportamento dos agentes.

Segundo Krishna (2010) em um leilão simples as hipóteses simplificadoras são a de neutralidade do jogador, simetria de informações entre os participantes e o *trade-off* entre eficiência e rendimento. Com tais hipóteses é possível o desenho de um mecanismo que garanta a máxima eficiência, traduzida em maximização do rendimento.

Relaxando-se tais hipóteses simplificadoras é possível que algumas características dos leilões realizados sejam detectadas, embora informações quanto aos lances não vencedores ou a não participação em um segundo estágio do processo dificulte a identificação de elementos que seriam essenciais para a especificação de uma estratégia ótima para o jogador.

Alguns estudos buscaram destacar a importância da realização dos leilões enquanto mecanismo de ajuste de preços e quantidades nos mercados. Citam-se como exemplos os leilões de telefonia, ondas de rádio e energia descritos anteriormente.

Em relação à estrutura topológica é possível extrair informações relevantes, principalmente a observação de uma possível correlação entre as ações dos agentes nos leilões considerados.

Trabalhos sobre a correlação em uma estrutura topológica foram efetuados por Onnela *et al.* (2003), Leibon *et al.* (2008) e Bech e Atalay (2010). A metodologia de redes sociais em economia ainda é incipiente e são destacáveis em duas subáreas importantes: o mercado de trabalho e o mercado financeiro. Na primeira, destacam-se os trabalhos de Calvó-Armengol e

Jackson (2004) e Ioannides e Loury (2004). Calvó-Armengol e Jackson (2004) estabelecem que a situação estar empregado ou melhorar de emprego depende da posição do agente em uma rede e ao fato de pertencer à mesma. Ioannides e Loury (2004) tratam da rede de informações sobre o mercado de trabalho e como o *peer-effect* afeta a rede, bem como a desigualdade dela oriunda.

Em relação ao mercado financeiro, citam-se os trabalhos de Onnela *et al.* (2003), Leibon *et al.* (2008) e Bech e Atalay (2010). Os dois primeiros tratam da matriz de correlações entre os ativos formados na chamada “árvore de ativos” durante intervalos regulares, possibilitando-se a análise taxonômica entre os ativos e a consequente análise de portfólio. O último trata da estrutura topológica do mercado de fundos nos Estados Unidos durante a crise de 2008. Os autores verificaram como os bancos são conectados e como estas possibilitam a identificação de setores com baixa liquidez, liquidez intermediária e alta liquidez. Em outras palavras, podemos traduzir na identificação do fenômeno conhecido por “empoçamento da liquidez”.

Dentre os pressupostos básicos da Teoria dos Leilões<sup>2</sup>, segundo Klemperer (2002) destacam-se:

- a) cada jogador possuir uma avaliação privada do objeto;
- b) os sinais dos lances são independentes e identicamente distribuídos entre os participantes do leilão;
- c) os lances são privados;
- d) os participantes são neutros ao risco: a hipótese de neutralidade ao risco corrobora o resultado de rendimento equivalente entre os leilões. Em outras palavras, é possível aproximar a estrutura de um leilão de envelope fechado com os resultados de leilões abertos;
- e) correlação: os lances entre os jogadores não são correlacionados;
- f) afiliação: os lances entre os jogadores e os resultados não são estatisticamente significativos;
- g) ausência de Custos de Entrada: desde que observados os pré-requisitos do leilão, a participação no mesmo é livre;
- h) número de Jogadores livre: este pressuposto facilita alterações no número de participantes; e,

---

<sup>2</sup> Detalhes e derivações matemáticas sobre leilões são encontradas no apêndice deste trabalho. Para maiores informações ver: Klemperer (2004), Krishna (2002), Milgrom (2005).

- i) ausência de Colusão: os jogadores não formam coalizões para participar dos leilões;

Diante dos pressupostos, a violação dos mesmos altera a interpretação e a configuração de leilões ótimos. A grande dificuldade da literatura, principalmente a empírica, é identificar tais violações. O presente trabalho tem como objeto a configuração de uma rede entre os participantes dos leilões de energia e, para tal propõe que os pressupostos de não afiliação e não correlação sejam violados. Logo, a correlação entre os lances, para os participantes de um mesmo leilão, bem como a correlação entre os lances de um mesmo jogador em diferentes leilões podem ser identificadas com o uso da regressão QAP.

Como diferencial neste trabalho, utiliza-se a abordagem de regressão QAP (*Quadratic Assignment Problem*), comum em sociometria na metodologia proposta por Krackhardt (1987, 1988), Simpson (2001), McGrath e Krackhardt (2003) e Dekker, Krackhardt e Snijders (2007). O objetivo do presente trabalho é construir e estudar os leilões através da estrutura topológica das redes formadas por esses agentes durante a realização dos leilões ocorridos a partir de setembro de 2010 a julho de 2012. Desta forma, a obtenção dos coeficientes de densidade de blocos ou médias, medida do grau dos vértices através dos índices de *Zagreb*, estimativa do grupo de centralidade, distância, entre outros, são calculados para a análise das estruturas estabelecidas a partir da realização dos leilões. Os objetivos secundários se resumem em: (i) identificação dos principais agentes compradores e vendedores de energia e os seus papéis na intermediação no mercado de energia elétrica; e, (ii) o uso das estruturas de cada um dos leilões regredidos em função dos leilões anteriores para a obtenção da correlação entre os agentes e entre as estruturas formadas em cada leilão com vistas à identificação de estratégias dos agentes participantes dos leilões, conforme os procedimentos da regressão QAP.

### 3 METODOLOGIA

O principal elemento do presente artigo é a rede cuja definição é uma configuração de nodos e conexões entre agentes. As conexões em redes gerais são úteis para a representação das interações em relações sociológicas, ecossistemas, relações políticas e, principalmente, econômicas. No caso do mercado de energia elétrica, cujo organizador é a CCEE, os agentes do mercado representariam tais nodos.

Para Galeotti *et al* (2010) a evidência empírica de redes motiva o estudo teórico dos efeitos das redes de relacionamento entre os agentes, possibilitando a compreensão de como alterações na estrutura das redes importam e como os indivíduos se comportam em uma estrutura de rede alterada.

O instrumental de redes de jogos possibilita uma combinação importante não auferida pela teoria dos jogos que é a sua evidência empírica. Embora mais complexas, as redes de jogos possibilitam inferências estatísticas importantes e, segundo Jackson (2006), a ciência das redes sociais foi iniciada pelos sociólogos e acompanhada pelo desenvolvimento da literatura de teoria dos grafos pelos matemáticos. Enquanto os economistas mostraram um interesse restrito ao tema, como em Myerson (1977), as contribuições literárias estiveram vinculadas às formas de agregação e cooperação em jogos. No período recente, especificamente na última década, os economistas passaram a ver na teoria de redes e em jogos de redes um campo profícuo.

A metodologia, portanto, compreende dois blocos distintos, são eles:

- a) A identificação topológica da rede através da teoria dos grafos e de redes de jogos;  
e,
- b) O uso da regressão QAP.

Através da teoria dos grafos e de redes de jogos entende-se como a rede funciona, para que ocorra a estruturação dos leilões, a determinação dos agentes do setor elétrico e a configuração da rede de relacionamentos entre os mesmos através dos processos de compra, venda e intermediação. Foram criadas redes para cada uma das modalidades de leilões, a saber: leilões de energia nova, leilões de energia existente e leilões de ajuste.

#### 3.1 Teoria Dos Grafos

A definição da estrutura topológica da rede envolve os seguintes conceitos básicos: nodo, vértice adjacente, ligação, trajeto, caminho, distância, ciclo, isomorfismo, vizinhança,

grau, densidade, entre outros.

Segundo Gross e Yellen (2007), um conjunto de definições auxilia na determinação das estruturas das redes, sendo a preocupação essencial da Teoria dos Grafos, evidenciar a estrutura topológica da mesma a partir de conceitos citados anteriormente, essenciais para a compreensão e análise de sua estrutura. Dentre os conceitos importantes, destacam-se:

3.1.1 Grafo: um objeto matemático que envolve pontos e conexões entre eles. No presente trabalho um grafo representaria alguma parte da estrutura do mercado de energia, no caso específico um leilão ou um conjunto deles. Logo, um grafo  $G = (V, E)$  consistiria de dois conjuntos, em que  $V$  representaria o conjunto de nodos, no caso os agentes de geração, distribuição, comercialização e, ainda, possivelmente consumidores.  $E$  representaria o conjunto de ligações entre os agentes em cada um dos leilões ocorridos.

3.1.2 Nodo ou Vértice:  $N = \{1, \dots, n\}$  é o conjunto de nodos que estão envolvidos em uma rede de relacionamentos. São referidos, também, como vértices, indivíduos, agentes ou jogadores. Estes podem ser discriminados através de cores diferentes ou nodos com formas diferentes (quadrados, losangos, entre outras). Optou-se por distingui-los pela forma, sendo assim: autoprodutor são aqueles representados por um triângulo com a ponta para baixo; comercializador por um losango; consumidor especial por um triângulo com a ponta para cima; consumidor livre por um quadrado com as bordas arredondadas; distribuidor por um quadrado; gerador por um círculo; e produtor independente por um quadrado com um círculo dentro.

3.1.3 Ligações Adjacentes: dizemos que duas ligações são adjacentes se ambas tiverem um ponto final comum entre elas, tais ligações pertencem ao mesmo conjunto  $E$ .

3.1.4 Auto-loop: é uma ligação que une um simples ponto final a ele mesmo. Nas redes seriam representados por ciclos de negociação que envolve os mesmos agentes.

3.1.5 Grau: o grau de um vértice  $v$  em um grafo  $G$ , definido por  $deg(v)$ , é o número de conexões próprias incidentes em  $v$  mais duas vezes o número de *auto-loops*. É o número de vizinhos daquele vértice.

3.1.6 Distância: distância entre dois vértices em um grafo é a ligação do caminho mais curto entre eles.

3.1.7 Subgrafos: Um subgrafo de um grafo  $G$  é um grafo  $H$  tal que  $V_H \subset V_G$  e  $E_H \subset E_G$ .

3.1.8 Índices de Zagreb 1 e 2: Índices são utilizados principalmente para grafos moleculares de compostos químicos, como mostra Kovacevic *et al* (2003) e Qiao (2010). O índice de Zagreb 1,  $M_1(G)$ , é igual à soma dos quadrados dos graus dos vértices .

$$M_1(G) = \sum_{u \in V(G)} (d(u))^2$$

O índice de *Zagreb 2*,  $M_2(G)$ , é igual a soma dos produtos dos graus de pares de vértices adjacentes de um grafo molecular subjacente.

$$M_2(G) = \sum_{uv \in E(G)} d(u)d(v)$$

3.1.9 Índice de Platt: O índice de *Platt*,  $F$ , de um grafo  $G$ , é igual à soma total dos graus das arestas de  $G$ . Sendo  $\varepsilon(i)$  o grau das arestas definido como o número de vértices adjacentes.

$$F = \sum_{arestas} \varepsilon(i)$$

3.1.10 Índice de Relinking: Medida de religação pelo comércio entre as empresas participantes do leilão. Sendo  $n$  o número de vértices,  $m$  o número de arcos,  $k$  é o número de empresas fracamente ligadas e  $M$  o número máximo de vértices. Sendo assim, o quociente abaixo é definido com o índice de *Relinking* ( $RI$ ).

$$RI = \frac{k + m - n}{k + n - 2M}$$

3.1.11 Densidade: A densidade do grafo é determinada de acordo com o número de arestas, sendo uma proporção das arestas observadas em relação ao número total de possíveis arestas.

3.1.12 Índice de Randić: É introduzido um conceito diferente de grau de vértice,  $\delta$ , o qual, para um dado vértice, é definido como o número de vértices vizinhos. Foi proposto, então, um peso para os lados entre os vértices  $i$  e  $j$ , definindo-o por:  $(\delta_i \cdot \delta_j)^{-1/2}$ . A partir deste ponto pode-se definir um índice de ramificação como a soma dos pesos dos lados, para todos os lados em um grafo molecular. Expressando matematicamente, cada lado entre os vértices  $i$  e  $j$  é caracterizado por um número definido como:  $C_{ij} = (\delta_i \cdot \delta_j)^{-1/2}$ .

Onde  $C_{ij}$  é o peso entre os vértices  $i$  e  $j$  e  $\delta_i$  é o grau do vértice  $i$ . O índice de ramificação ou de conectividade,  $\chi$ , é obtido fazendo-se a soma de todos os  $C_{ij}$ :

$$\chi = \sum C_{ij} = \sum (\delta_i \cdot \delta_j)^{-1/2}$$

## 3.2 Redes de Jogos

O aspecto crucial para a aplicação de redes de jogos encontra-se na possibilidade de que, além de coalizões serem formadas, relações entre elas sejam estabelecidas. Desta forma a

complexidade das relações entre os tomadores de decisão em um jogo transcenderia a simples axiomática da teoria da barganha e, também, das estruturas agregativas e a sua representação em jogos com poucos jogadores.

Em uma estrutura inicial, portanto, as coalizões poderiam ser consideradas exógenas. O uso da teoria dos grafos para a resolução de jogos cooperativos foi apresentada na literatura de teoria dos jogos por Myerson (1977) e se tornou a sua principal referência metodológica.

Apesar da existência ou do estabelecimento de regras como protocolos, os resultados obtidos por Hart e Kurz (1983) e Ray e Vohra (1999, 2001) evidenciaram a diferença entre os resultados coalizacionais e os resultados da grande coalizão em termos de eficiência e de sua estabilidade.

A literatura tem se firmado na estrutura conceitual estabelecida por Bernheim *et al* (1987) e Bernheim e Winston (1987), onde os conceitos de Equilíbrio de Nash Forte e Equilíbrio de Nash Perfeito em Coalizões são os conceitos de solução. O conceito de equilíbrio seria definido individualmente em ambos, o número de jogadores e o número de estágios do jogo.

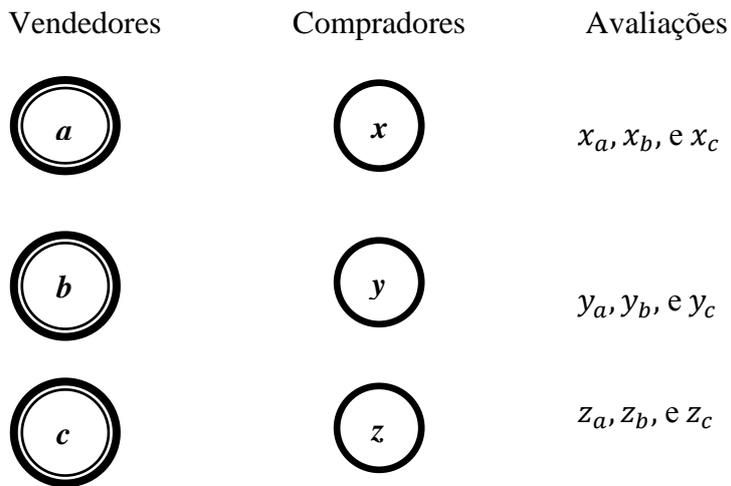
Os tamanhos das redes dependeriam do número de relações definidas entre os jogadores, antes do início do jogo. Define-se, com base em Jackson (2005), para jogos de redes:

3.2.1 Jogadores:  $N = \{1, \dots, n\}$  um conjunto de jogadores conectados por alguma rede de relacionamentos.

3.2.2 Redes: sendo  $g^N$  o conjunto de todos os subconjuntos de  $N$ , de tamanho 2,  $G = \{g \subset g^N\}$  descreve o conjunto de todas as possíveis redes ou grafos em  $N$ .

3.2.3 Redes de jogos: é um par  $(N, v)$  onde  $N$  é um conjunto de jogadores e  $v$  é uma função valor na rede entre os jogadores.

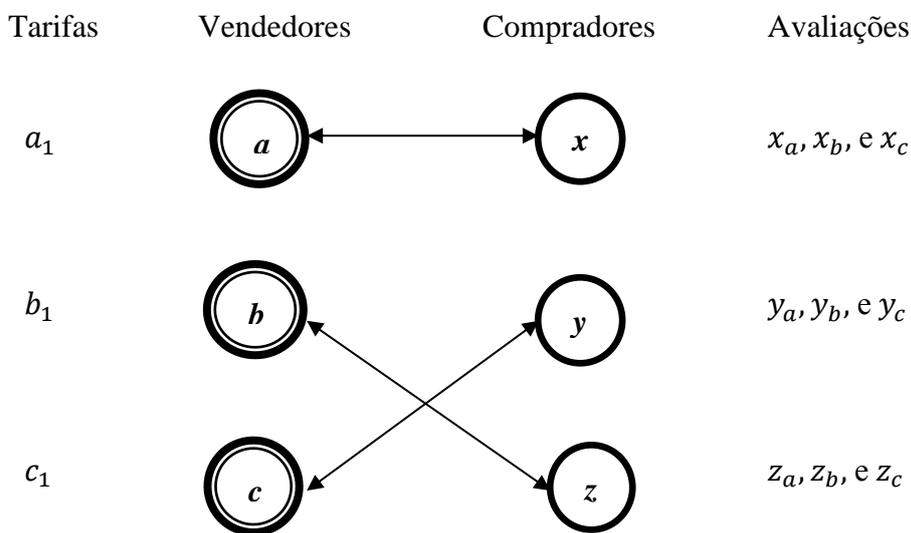
Portanto, como exemplo, considera-se um mercado em que a possibilidade de tarifas e ajuste de mercado em uma rede possibilitará as ocorrências seguintes, conforme proposto por Easley e Kleinberg (2010):

FIGURA 1 – Rede em que os compradores avaliam os bens  $a$ ,  $b$  e  $c$ .

Fonte: Easley e Kleinberg(2010)

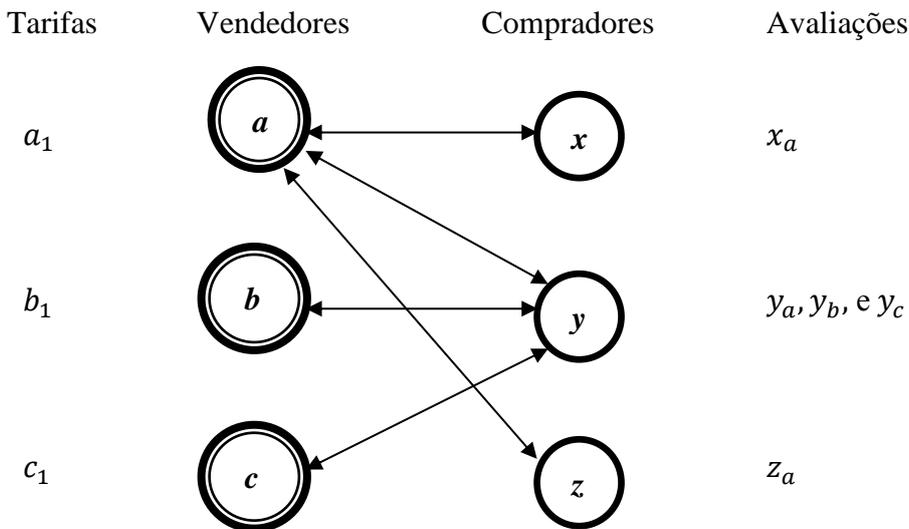
A FIG. 1 mostra uma rede em que três compradores avaliam os bens  $a$ ,  $b$  e  $c$ , postos à venda. A avaliação dos mesmos três bens para cada um dos compradores é dada pelos vetores de preços/tarifas  $(x_a, x_b, x_c)$ ,  $(y_a, y_b, y_c)$  e  $(z_a, z_b, z_c)$ . Na situação em que as tarifas ajustam o mercado, a FIG. 2 mostra que não haverá algum excesso de oferta/demanda.

FIGURA 2 – Rede em que as tarifas ajustam o mercado.



Fonte: Easley e Kleinberg (2010)

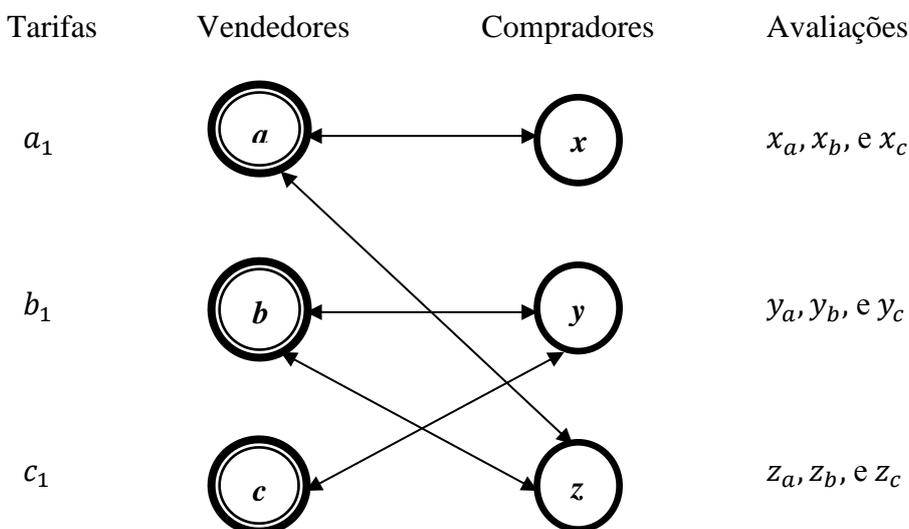
FIGURA 3 – Rede em que as tarifas não ajustam o mercado.



Fonte: Easley e Kleinberg (2010).

Na FIG. 3, o livre mercado seria uma condição essencial para que o mercado estipulasse preços reais e, com isso, os ajustes ocorreriam com a eliminação dos excessos de demanda e de oferta. Tal pressuposição para o mercado de energia, em que o ciclo de produção depende de uma estrutura que atenda os requisitos de demanda no longo prazo, podendo haver comprometimento do crescimento em caso de ausência de oferta, indica que a existência de um intermediário seria condição única para que a dinâmica de mercado seja verificada. Logo, com a presença de um intermediário, tem-se um modelo de rede como o da FIG. 4.

FIGURA 4 – Rede em que as tarifas ajustam o mercado com a intermediação.

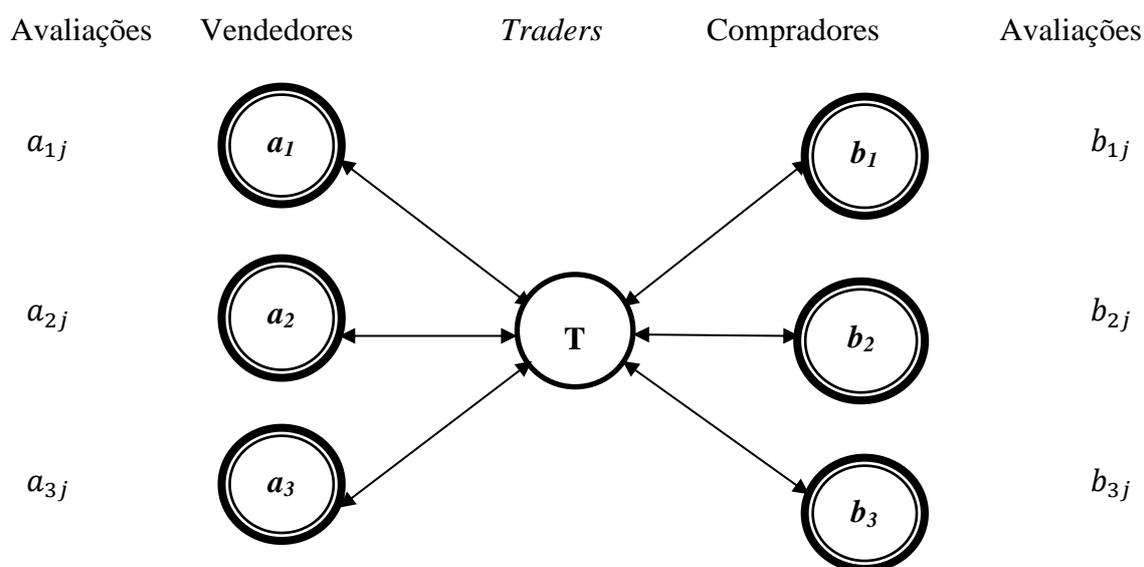


Fonte: Easley e Kleinberg (2010).

Em uma rede de compradores e vendedores de energia, nos leilões, com a intermediação da CCEE, enquanto leiloeiro, as tarifas e lotes de energia negociados ajustariam o mercado ao serem observadas as possibilidades nos leilões de energia nova, e as regras de contratação nos demais leilões.

Do ponto de vista da estrutura de uma rede de jogos, então, poder-se-ia ilustrar as preferências dos agentes como se observa na FIG 5.

FIGURA 5 – Rede em que o intermediário influencia e coordena as negociações.



Fonte: Easley e Jon Kleinberg (2010).

### 3.3 Regressão QAP

O método de assinalamento quadrático foi resenhado por Simpson (2001) tendo sido usado para a análise de dados diádicos em redes sociais. A relevância do tema para o presente trabalho é que o conjunto de agentes do mercado é desagregado entre autoprodutores, comercializadores, consumidores especiais, consumidores livres, distribuidores, geradores e produtores independentes. As características entre eles, ou atributos que os associam, estão baseada nas quantidades de energia negociadas em cada grupo de leilões. Considera-se, então, a compra e a venda de energia para explicar as transações entre dois agentes da rede. Logo, permite a detecção dos lances executados em ao menos cinco leilões.

O fato que aproxima a metodologia do objeto de estudo é que o termo de erro é correlacionado entre os lances realizados e entre compradores/vendedores em um leilão, mais especificamente em inúmeros leilões.

Ao corroborar a hipótese de não independência entre os lances, as possibilidades de estudo e identificação dependeria de algumas possibilidades muito restritas, conforme apontado por Simpson (2001):

- a) O uso de modelos de efeitos fixos em dados de painel tornaria o resultado indefinido devido ao elevado número de parâmetros que deveriam ser combinados para se expressar as combinações entre os agentes do conjunto tomado;
- b) O uso do método de Mínimos Quadrados Generalizados, da mesma forma, imporiam restrições à matriz de covariância que deveria ser fixada. Tal proposta não tem sido profícua em estruturas de dados de painel; e,
- c) O uso do método de Mínimos Quadrados Ordinários seria viável desde que os erros-padrões fossem ajustados. A abordagem de regressão QAP simularia as relações com a permutação dos dados.

Logo, nas regressões *Quadratic Assignment Procedure* (QAP), propostas por Simpson (2001), seriam verificadas as relações diádicas ente os agentes. Daquela estrutura, derivam-se quatro possibilidades de regressão entre as matrizes das redes formadas: *Double Dekker Semi-Partialling* – MRQAP<sup>3</sup> (semi-parcelamento duplo de *Dekker*), Métodos de *Semi-Partialling* (semi-parcelamento) e *Full Partialling*<sup>4</sup> (parcelamento total), e Método Original (*Y Permutation*)<sup>5</sup>.

### 3.3.1 Método Original (*Y Permutation*)

O Método Original com a permutação da variável explicada mostra como um leilão dependeria de sua relação com leilões anteriores.

No procedimento ocorre a permutação da matriz do leilão independente e estima-se a equação em função dos leilões anteriores. Os resultados gerados baseiam-se nas permutações e estimações as quais acabam gerando uma distribuição amostral.

Algebricamente, para uma estimação do método com a permutação do leilão Y, e os leilões X e Z, deve-se considerar as seguintes matrizes:

---

<sup>3</sup> Ver Dekker, Krackhardt e Snijders (2007).

<sup>4</sup> Ver Krackhardt (1987, 1988).

<sup>5</sup> Ver McGrath e Krackhardt (2003).

$$Y = \begin{pmatrix} y_{1,1} & y_{1,2} & \cdots & y_{1,2361} & y_{1,2362} \\ y_{2,1} & y_{2,2} & \cdots & y_{2,2361} & y_{2,2362} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ y_{2361,1} & y_{2361,2} & \cdots & y_{2361,2361} & y_{2361,2362} \\ y_{2362,1} & y_{2362,2} & \cdots & y_{2362,2361} & y_{2362,2362} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$X = \begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \cdots & x_{1,2361} & x_{1,2362} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \cdots & x_{2,2361} & x_{2,2362} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_{2361,1} & x_{2361,2} & \cdots & x_{2361,2361} & x_{2361,2362} \\ x_{2362,1} & x_{2362,2} & \cdots & x_{2362,2361} & x_{2362,2362} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$Z = \begin{pmatrix} z_{1,1} & z_{1,2} & \cdots & z_{1,2361} & z_{1,2362} \\ z_{2,1} & z_{2,2} & \cdots & z_{2,2361} & z_{2,2362} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ z_{2361,1} & z_{2361,2} & \cdots & z_{2361,2361} & z_{2361,2362} \\ z_{2362,1} & z_{2362,2} & \cdots & z_{2362,2361} & z_{2362,2362} \end{pmatrix} \quad (3)$$

No teste de regressão espúria entre  $Y$  e  $X$ , considerando-se que  $Z$  seja um possível controle, mesmo admitindo-se mais de um controle, é possível verificar os resíduos após a definição das matrizes  $Y$ ,  $X$ ,  $Z$  em suas representações estruturais:

$$Y = \begin{pmatrix} y_{1,2} \\ y_{1,3} \\ \vdots \\ y_{1,2361} \\ y_{1,2362} \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} x_{1,2} \\ x_{1,3} \\ \vdots \\ x_{1,2361} \\ x_{1,2362} \end{pmatrix} \quad \text{e} \quad Z = \begin{pmatrix} z_{1,2} \\ z_{1,3} \\ \vdots \\ z_{1,2361} \\ z_{1,2362} \end{pmatrix}$$

Tomando-se, então,  $W$  como sendo um controle, no caso acima um único controle, ter-se-ia:

$$W = \begin{pmatrix} 1 & z_{1,2} \\ 1 & z_{1,3} \\ \vdots & \vdots \\ 1 & z_{1,2361} \\ 1 & z_{1,2362} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Os resíduos para  $Y$  e  $X$  seriam dados a partir do método de Mínimos Quadrados Ordinários, a saber:

$$Y^* = \begin{pmatrix} y_{1,1}^* & y_{1,2}^* & \cdots & y_{1,2361}^* & y_{1,2362}^* \\ y_{2,1}^* & y_{2,2}^* & \cdots & y_{2,2361}^* & y_{2,2362}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ y_{2361,1}^* & y_{2361,2}^* & \cdots & y_{2361,2361}^* & y_{2361,2362}^* \\ y_{2362,1}^* & y_{2362,2}^* & \cdots & y_{2362,2361}^* & y_{2362,2362}^* \end{pmatrix} = Y - W((W'W)^{-1}W'Y) \quad (5)$$

$$X^* = \begin{pmatrix} x_{1,1}^* & x_{1,2}^* & \cdots & x_{1,2361}^* & x_{1,2362}^* \\ x_{2,1}^* & x_{2,2}^* & \cdots & x_{2,2361}^* & x_{2,2362}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_{2361,1}^* & x_{2361,2}^* & \cdots & x_{2361,2361}^* & x_{2361,2362}^* \\ x_{2362,1}^* & x_{2362,2}^* & \cdots & x_{2362,2361}^* & x_{2362,2362}^* \end{pmatrix} = X - W((W'W)^{-1}W'X) \quad (6)$$

Lembra-se de que as equações (5) e (6) geram dois conjuntos de parâmetros, a saber:

$$Y^* = Y - W\beta_1 \quad (7)$$

$$X^* = X - W\beta_2 \quad (8)$$

As correlações entre os vetores gerados Y e X resultam na correlação parcial. Logo, segundo Krackhardt (1987), o QAP tem sido recomendado para o teste de uma correção observada.

Outro aspecto relevante, que trata especificamente da permutação de Y, imporia restrições sobre a matriz (5) permitindo permutações sobre linhas e colunas, como por exemplo:

$$Y^* = \begin{pmatrix} y_{2361,2361}^* & y_{2361,2}^* & \cdots & y_{2361,2362}^* & y_{2361,1}^* \\ y_{2,2361}^* & y_{2,2}^* & \cdots & y_{2,2362}^* & y_{2,1}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ y_{2362,2361}^* & y_{2362,2}^* & \cdots & y_{2362,2362}^* & y_{2362,1}^* \\ y_{1,2361}^* & y_{1,2}^* & \cdots & y_{1,2362}^* & y_{1,1}^* \end{pmatrix} \quad (9)$$

Estimativas sistemáticas com inúmeras possibilidades de permutações geram uma distribuição de parâmetros  $\beta_1$  da qual será possível inferir sobre a significância paramétrica entre os agentes  $(1, \dots, 2362)$ .

### 3.3.2 Semi-Partialling

No semi-parcelamento<sup>6</sup>, portanto, é imposta a restrição condicional sobre os efeitos do controle sobre Y, tal que os erros sejam definidos por:

$$\hat{\epsilon}_{YZ} = Y - \hat{\gamma}Z \quad (10)$$

em que:

$\hat{\gamma}$  = estimativa do parâmetro da equação (11).

$$Y = \gamma Z + E \quad (11)$$

As variações em Y devem ser explicadas por Z ou modeladas por E, tal que afeta a variância de Y, mesmo em permutações. Logo, os resíduos devem ser reescritos com as equações (10) e (11).

$$\hat{\epsilon}_{YZ} = (\gamma - \hat{\gamma})Z + E \quad (12)$$

Os testes tradicionais F,  $F(Y^\pi, X|Z)$ , e da soma dos quadrados da regressão,  $R^2(Y^\pi, X|Z)$ , são dadas pela variável Y e pela condicional de X em relação ao controle, a saber:

$$Y^\pi = \hat{\gamma}Z + \pi(\hat{\epsilon}_{YZ}) \quad (13)$$

Embora o semi-parcelamento gere resultados assintóticos é possível substituí-lo por semi-parcelamentos alternativos como o de Dekker, Krackhardt e Snijders (2007).

### 3.3.3 Double Dekker Semi-Partialling – MRQAP

O semi-parcelamento duplo, devido a Dekker, Krackhardt e Snijders (2007), segue a lógica proposta no semi-parcelamento. O semi-parcelamento impõe a restrição de que os testes estatísticos sejam formulados com base nas relações entre Y e, ao menos um controle Z. Entretanto, o duplo semi-parcelamento possibilita, por analogia, que sejam inferidas as possibilidades sobre a relação entre X e Z. Em outras palavras, o controle afeta a variável explicativa.

$$\hat{\epsilon}_{XZ} = X - \hat{\delta}Z \quad (14)$$

---

<sup>6</sup> No parcelamento total (*Full Partialling*) é estabelecida a correlação residual entre X e Y, assegurando-se que a variável de controle Z seja constante entre X e Y, ver Krackhardt (1987, 1988).

Considerando-se a estimação do parâmetro  $\delta$  dada por:

$$X = \delta Z + V \quad (15)$$

em que:

$V$  = matriz com invariância permutacional.

A relação final fica determinada como:

$$Y = \beta\pi(\hat{\epsilon}_{XZ}) + \gamma Z + E \quad (16)$$

A variável explicativa é determinada pela relação (17) seguinte:

$$\pi(\hat{\epsilon}_{XZ}) = \pi((\delta - \hat{\delta})Z + V) \quad (17)$$

Com a estrutura de parcelamento total e semi-parcial e semi-parcelamento duplo de *Dekker* é possível à identificação das relações entre os agentes nas diversas estruturas de leilão.

### 3.4 Dados e Tratamento

Os dados foram coletados no site da CCEE no dia 29 de julho de 2012, sendo que os leilões considerados se referem aos Leilões de Ajuste, Leilões de Energia Existente e Leilões de Energia Nova. A análise é restrita aos três tipos de leilões citados, uma vez que envolve energia de fonte hidrelétrica, a principal fonte geradora do país. Além de que a quantidade negociada, nestes leilões, envolvendo outras fontes de energia encontra-se em montantes menores, tendo pequena importância se comparado aos montantes de energia hidrelétrica.

São considerados nove leilões que ocorreram entre 2010 e 2012, uma vez que nos demais leilões, tanto nos que ocorreram anteriormente e nos demais tipos existentes, há uma pequena participação dos agentes, o que dificultaria possíveis análises. Não são considerados os leilões anteriores a esta data devido à instabilidade que o modelo estrutural adotado apresentou a partir da adoção do Novo Modelo até finais da década de 2000. Observou-se uma não sequencialidade de ocorrência dos leilões muitas vezes por não apresentarem nenhum participante ou nenhuma oferta, levando ao cancelamento dos leilões e gerando uma perda de receita.

Em síntese os dados analisados serão os seguintes:

a) Agentes – totalizaram 2.362 agentes que configuram o mercado entre o seu início e o mês de julho de 2012, sendo que a atividade de entrada e saída dos agentes neste mercado é

constante. Uma vez determinado os leilões considerados, buscando uma maior consistência nos resultados consideraram-se apenas os agentes que realizam transações nos leilões. Com isto, são listados 73 agentes. Entre os compradores há: distribuidores e consumidores especiais; já entre os vendedores observa-se a presença de: autoprodutores, comercializadores, distribuidores, geradores e produtores independentes. Estes 73 agentes são discriminados pela forma, conforme descrito na seção 3.1.2, e a lista com a identificação de cada um encontra-se nos Anexos deste trabalho.

b) Leilões – totalizaram três blocos de leilões, a saber:

-Leilão de Ajuste: 10º, 11º, 12º e 13º;

-Leilão de Energia Existente: 9º e 10º;

-Leilão de Energia Nova: 11º, 12º e 13º.

c) Preços e Montantes Negociados – os preços negociados foram obtidos no ato do leilão e representam a ação de compra/venda de energia entre os agentes do mercado. Os leilões de ajuste, de energia nova e de energia existente são os que envolvem principalmente energia hidrelétrica, sendo que os montantes negociados são importantes variáveis no cálculo dos índices de conectividade e ligação obtidos.

Tomando-se os agentes, serão formadas redes que representam cada leilão praticado no mercado. Considera-se, portanto, apenas 73 dos 2.362 agentes do mercado. Em cada rede, serão apresentados apenas os agentes envolvidos nas negociações sendo identificados pelo formato do vértice e pela sigla de identificação<sup>7</sup>. A atividade de compra e venda é representada pelas conexões binárias entre os agentes, sendo que a ausência de transações entre dois agentes será mostrada como a ausência de conexões entre eles.

As matrizes construídas para a estimação dos coeficientes do modelo QAP, terão sua dimensão reduzida de acordo com os agentes considerados. Logo, as suas dimensões serão reduzidas de 2362 por 2362 para 73 por 73. Estas matrizes mostram o processo de compra e venda, sendo que nas linhas se observa os vendedores e nas colunas os compradores. Mas, estas matrizes, por serem antissimétricas, apresentam a contrapartida desse processo de venda, sendo representada pelo negativo do montante negociado. Ou seja, se o agente 1 vendeu 30 megawatts (MWt) para o agente 2, será observado na posição linha 1 coluna 2 da matriz o valor de 30. A contrapartida é observada na posição linha 2 coluna 1, onde o valor será de menos 30.

---

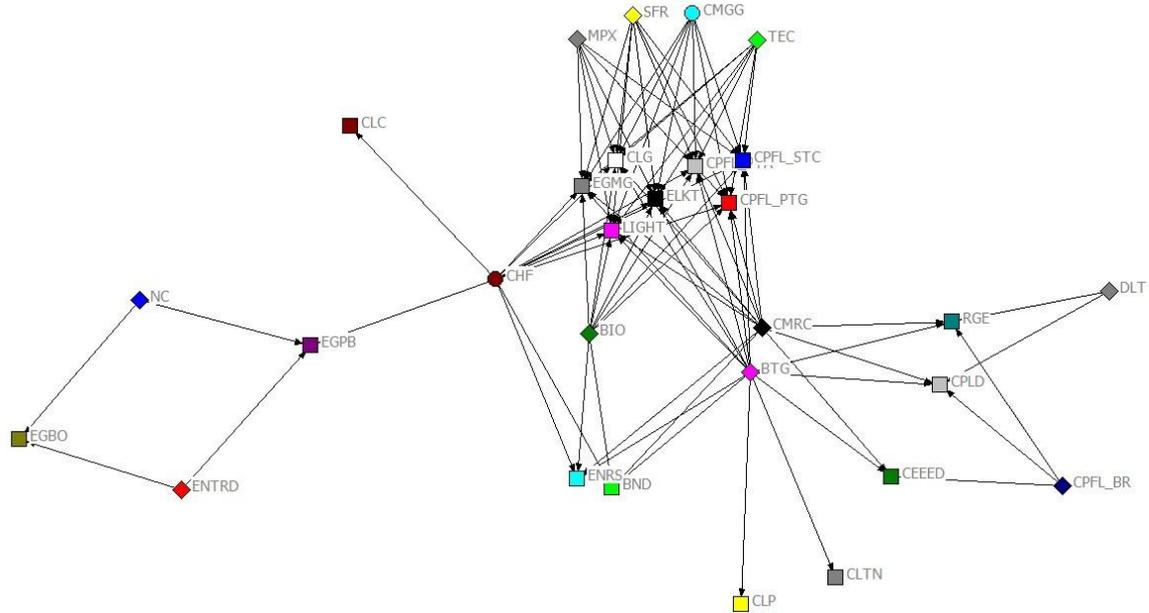
<sup>7</sup> As siglas de identificação de cada agente podem ser observadas no quadro apresentado no anexo deste trabalho, onde os agentes encontram-se organizados por ordem alfabética.



## 4 RESULTADOS

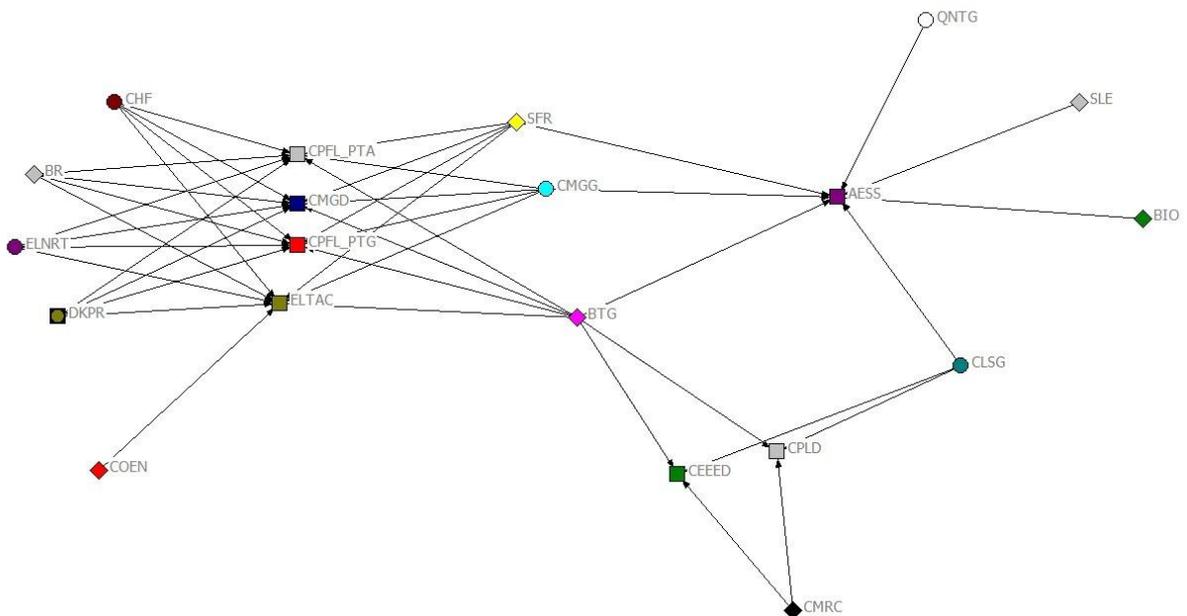
As redes são desenhadas no *software UCINET* e são apresentadas a seguir. As FIG. 6-14 mostram como os agentes agem em cada leilão. Inicialmente se observa os leilões de ajuste.

FIGURA 6 – 10º Leilão de Ajuste



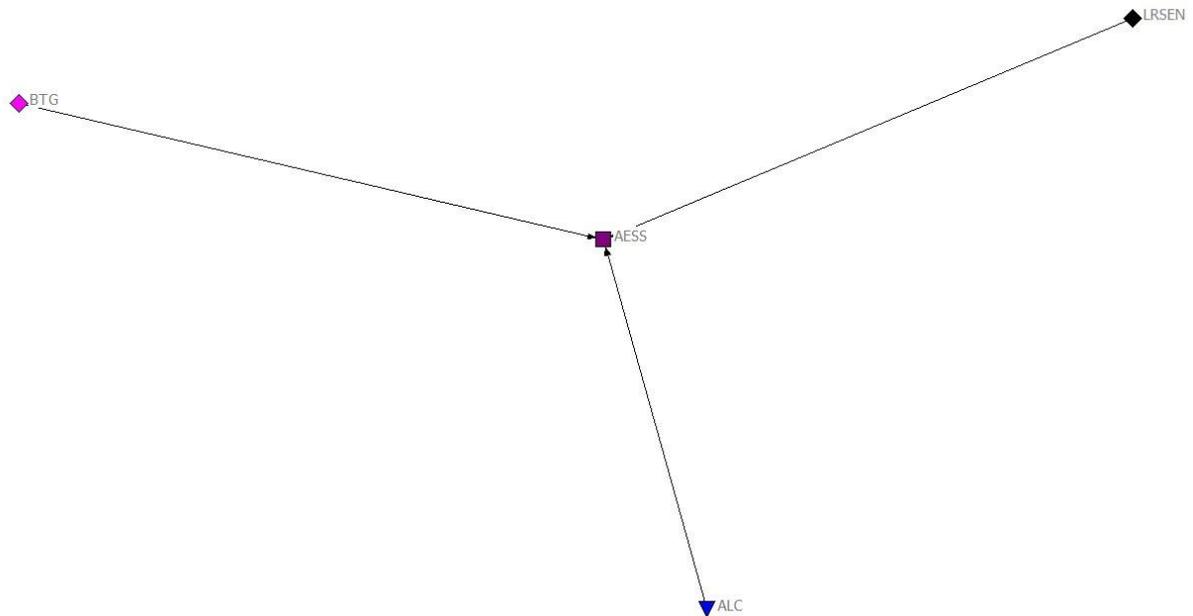
Fonte: Rede construída no *UCINET 6* a partir dos dados coletados.

FIGURA 7 – 11º Leilão de Ajuste



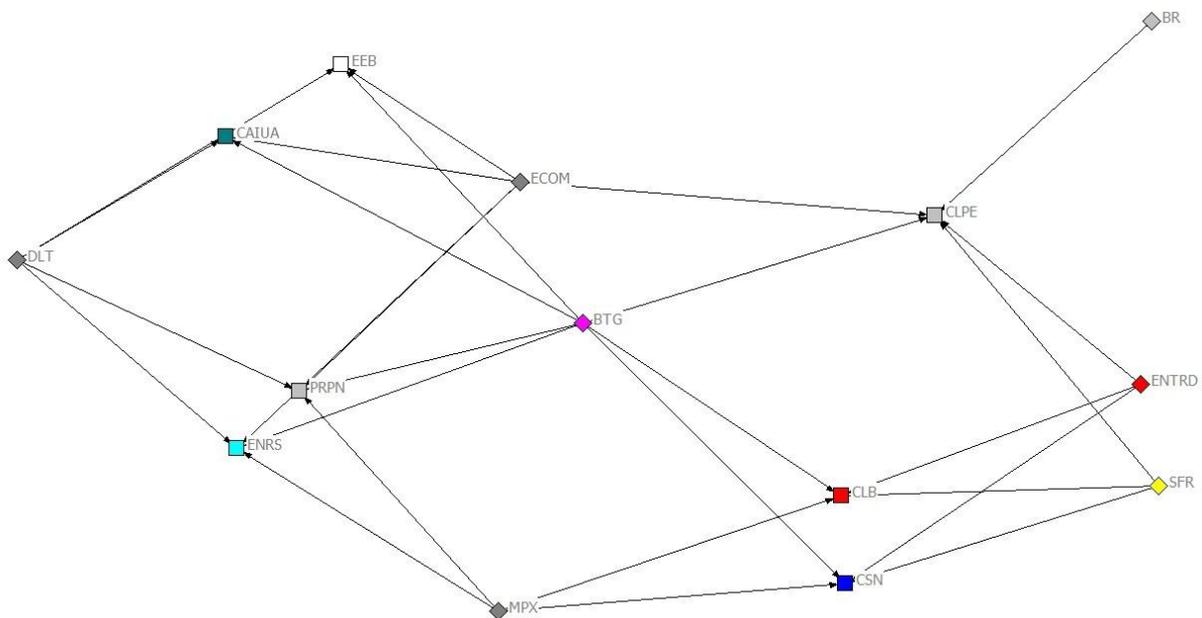
Fonte: Rede construída no *UCINET 6* a partir dos dados coletados.

FIGURA 8 – 12º Leilão de Ajuste



Fonte: Rede construída no *UCINET 6* a partir dos dados coletados.

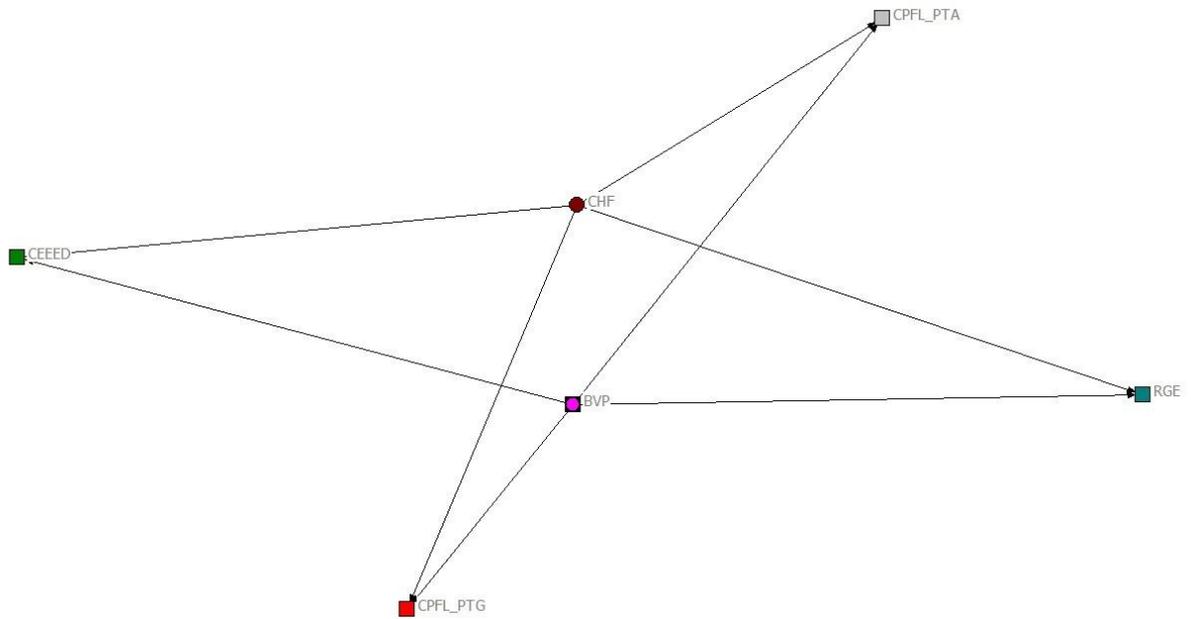
FIGURA 9 – 13º Leilão de Ajuste



Fonte: Rede construída no *UCINET 6* a partir dos dados coletados.

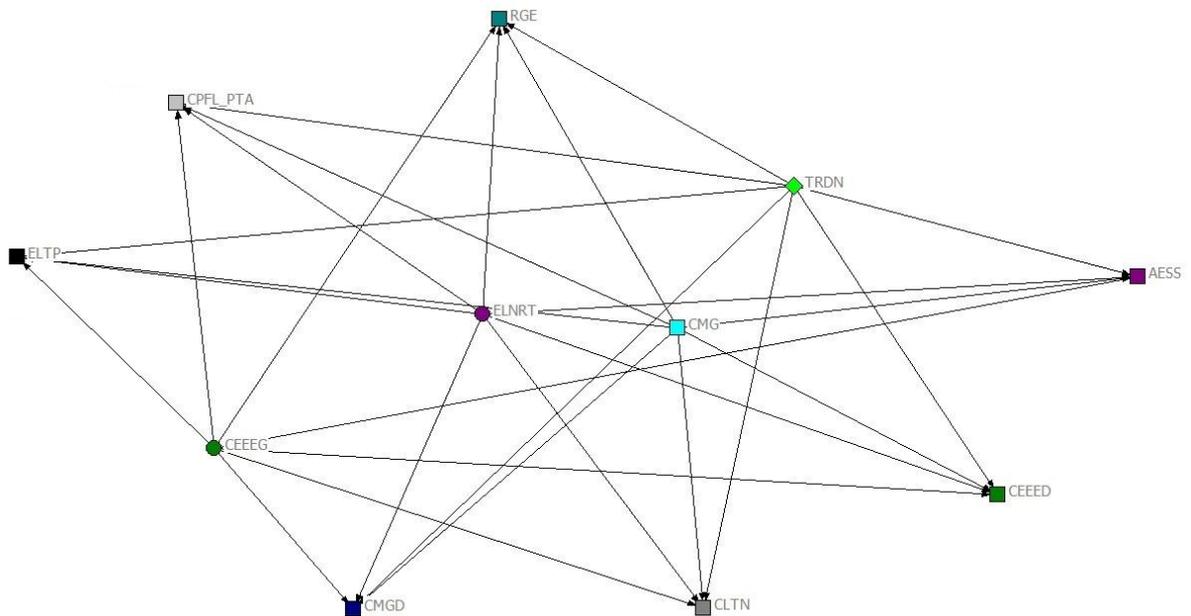
As FIG. 10 e 11 mostram o comportamento dos agentes durante os leilões de energia existente.

FIGURA 10 – 9º Leilão de Energia Existente



Fonte: Rede construída no *UCINET 6* a partir dos dados coletados.

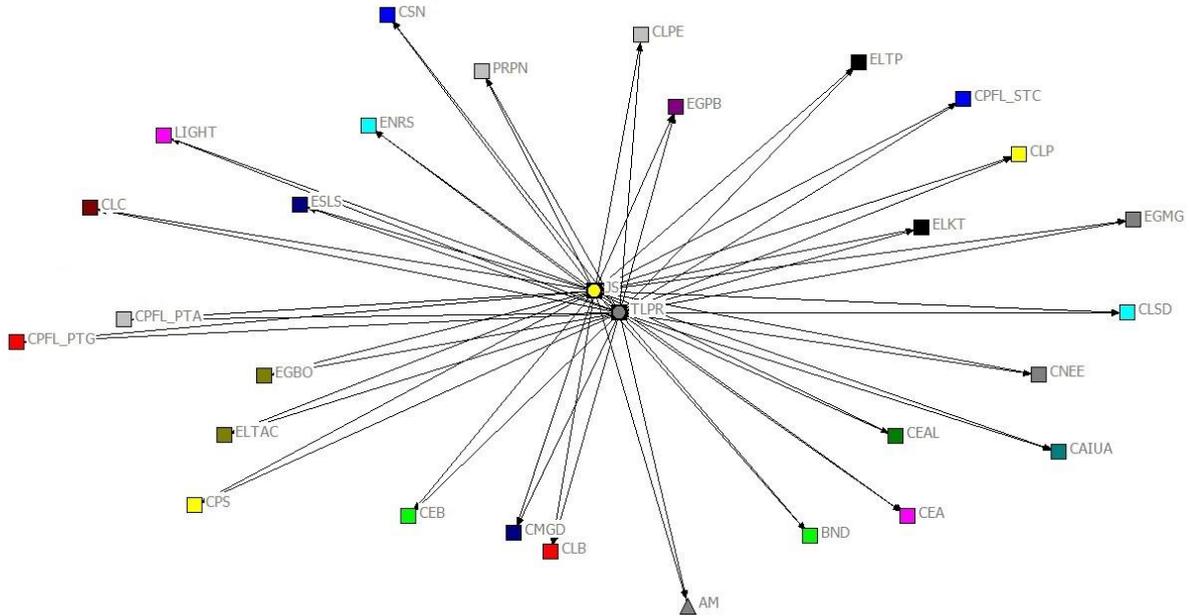
FIGURA 11 – 10º Leilão de Energia Existente



Fonte: Rede construída no *UCINET 6* a partir dos dados coletados.

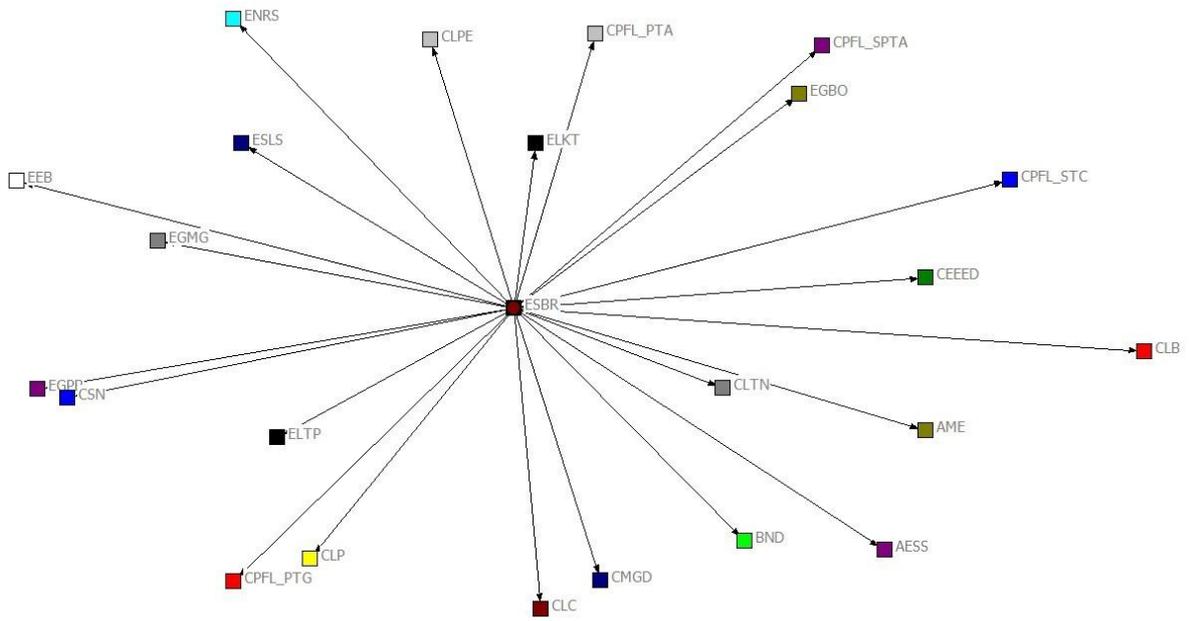
Os leilões de energia nova podem ser observados a partir das FIG. 12 – 14.

FIGURA 12 – 11º Leilão de Energia Nova



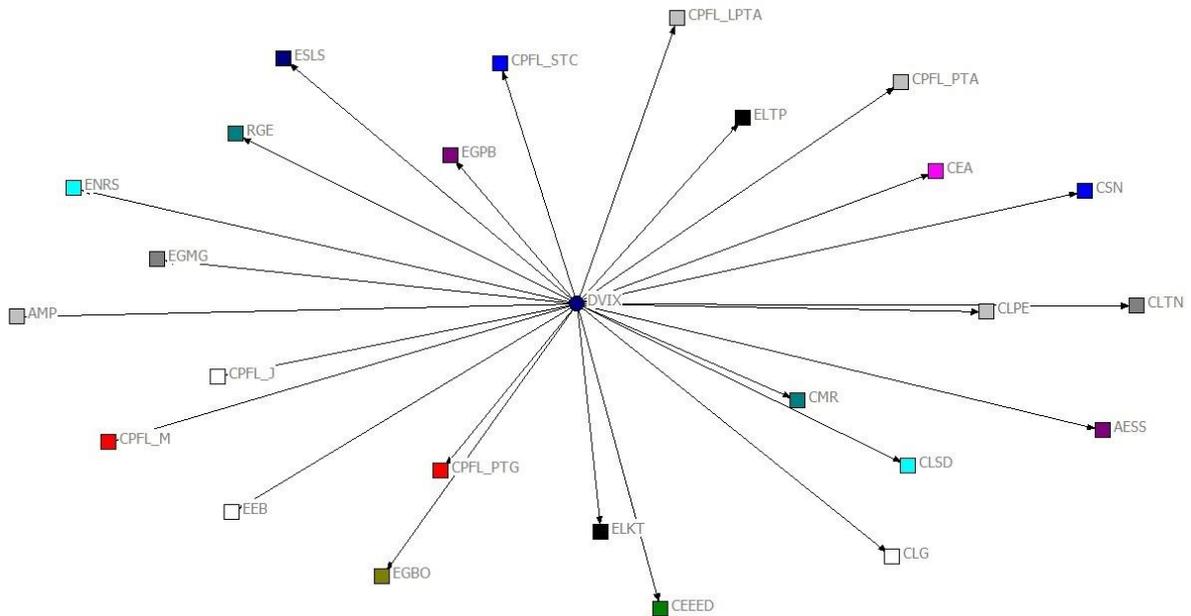
Fonte: Rede construída no UCINET 6 a partir dos dados coletados.

FIGURA 13 – 12º Leilão de Energia Nova



Fonte: Rede construída no UCINET 6 a partir dos dados coletados.

FIGURA 14 – 13º Leilão de Energia Nova



Fonte: Rede construída no *UCINET 6* a partir dos dados coletados.

A partir da observação do comportamento dos agentes nas figuras apresentadas anteriormente, é possível observar os coeficientes obtidos a partir da regressão QAP. Os Quadros 2-5 mostram o valor dos coeficientes obtidos para cada leilão considerado, sendo realizada a estimação através de quatro métodos disponíveis. Os valores dos coeficientes são apresentados com o seu *p* valor entre parênteses logo abaixo da estimativa obtida a partir das regressões.

QUADRO 2 – Resultados Regressão QAP (*Y Permutation*).

	Leilão					
	Ajuste			Energia Existente	Energia Nova	
Variável Dependente	Leilão 11	Leilão 12	Leilão 13	Leilão 10	Leilão 12	Leilão 13
Variável Independente	Leilão 10	Leilão 11	Leilão 12	Leilão 9	Leilão 11	Leilão 12
Coefficiente	0,335891 (0,000)	0,026557 (0,001)	0,000 (0,989)	0,000 (0,959)	0,000 (0,788)	0,000 (0,902)
R <sup>2</sup>	0,146	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: Dados obtidos pelo autor com o uso do *software UCINET 6*.

QUADRO 3 – Resultados Regressão QAP *Semi-Partialling*.

Leilão						
	Ajuste			Energia Existente	Energia Nova	
Variável Dependente	Leilão 11	Leilão 12	Leilão 13	Leilão 10	Leilão 12	Leilão 13
Variável Independente	Leilão 10	Leilão 11	Leilão 12	Leilão 9	Leilão 11	Leilão 12
Coefficiente	0,335891 (0,000)	0,026557 (0,000)	0,000 (0,989)	0,000 (0,962)	0,000 (0,795)	0,000 (0,882)
R <sup>2</sup>	0,146	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: Dados obtidos pelo autor com o uso do *software UCINET 6*.

QUADRO 4 – Resultados Regressão QAP *Double Dekker Semi-Partialling*.

Leilão						
	Ajuste			Energia Existente	Energia Nova	
Variável Dependente	Leilão 11	Leilão 12	Leilão 13	Leilão 10	Leilão 12	Leilão 13
Variável Independente	Leilão 10	Leilão 11	Leilão 12	Leilão 9	Leilão 11	Leilão 12
Coefficiente	0,335891 (0,0005)	0,026557 (0,002)	0,000 (0,983)	0,000 (0,966)	0,000 (0,798)	0,000 (0,886)
R <sup>2</sup>	0,146	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: Dados obtidos pelo autor com o uso do *software UCINET 6*.

QUADRO 5 – Resultados Regressão QAP *Full Partialling*.

Leilão						
	Ajuste			Energia Existente	Energia Nova	
Variável Dependente	Leilão 11	Leilão 12	Leilão 13	Leilão 10	Leilão 12	Leilão 13
Variável Independente	Leilão 10	Leilão 11	Leilão 12	Leilão 9	Leilão 11	Leilão 12
Coefficiente	0,335891 (1,000)	0,026557 (1,000)	0,000 (1,000)	0,000 (1,000)	0,000 (1,000)	0,000 (1,000)
R <sup>2</sup>	0,146	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: Dados obtidos pelo autor com o uso do *software UCINET 6*.

Através do *software Pajek*, como mostra Batagelj e Mrvar (2007), é possível obter diversos índices que caracterizam a estrutura topológica das redes. Sendo assim, os Quadros 6, 7 e 8 apresentam os índices obtidos considerando a estrutura das redes e as relações entre os agentes.

QUADRO 6 – Estrutura Topológica das Redes: Leilões de Ajuste.

Parâmetros	Leilão 10	Leilão 11	Leilão 12	Leilão 13
Vértices	73	73	73	73
Índice de Adjacência	108	42	3	27
<i>Loops</i>	0	0	0	0
Densidade	0.0202665	0.0078814	0.000563	0.0050666
Índice Zagreb 1	2540	458	12	232
Índice Zagreb 2	14178	1198	9	487
Índice de conectividade <i>Randic</i>	12.69653	8.97369	1.73205	6.72067
Índice de <i>Platt</i>	2324	374	6	178
Índice de <i>Relinking</i>	-20	3.28571	0	14

Fonte: Dados obtidos pelo autor com o uso do *software Pajek 2.03*.

QUADRO 7 – Estrutura Topológica das Redes: Leilões de Energia Existente.

Parâmetros	Leilão 9	Leilão 10
Vértices	73	73
Índice de Adjacência	8	28
<i>Loops</i>	0	0
Densidade	0.0015012	0.0052543
Índice Zagreb 1	48	308
Índice Zagreb 2	64	784
Índice de conectividade <i>Randic</i>	2.82843	5.2915
Índice de <i>Platt</i>	32	252
Índice de <i>Relinking</i>	-3	-9

Fonte: Dados obtidos pelo autor com o uso do *software Pajek 2.03*.

QUADRO 8 – Estrutura Topológica das Redes: Leilões de Energia Nova.

Parâmetros	Leilão 11	Leilão 12	Leilão 13
Vértices	73	73	73
Índice de Adjacência	56	23	26
<i>Loops</i>	0	0	0
Densidade	0.0105085	0.004316	0.004879
Índice Zagreb 1	1680	552	704
Índice Zagreb 2	3136	529	728
Índice de conectividade <i>Randic</i>	7.48331	4.79583	4.98414
Índice de <i>Platt</i>	1568	506	652
Índice de <i>Relinking</i>	-1.08	0	-0.04348

Fonte: Dados obtidos pelo autor com o uso do *software Pajek 2.03*.



## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os Quadros 6-8 mostram as informações referentes a cada leilão, sendo: a) vértices: o número de empresas consideradas; b) índice de adjacência: número de empresas que participam do leilão, negociando energia; c) *loops*: representam círculos de negociações fixos entre os agentes; d) densidade: indica a intensidade de negociação entre as empresas participantes; e) *Zagreb 1 e 2*: são índices que podem ser utilizados ou não, de acordo com o grau dos vértices, para derivação de modelos multilineares; f) índice de conectividade de *Randic*: é um índice que se utiliza do grau de cada vértice para calcular a conectividade de cada empresa, ou seja, o grau de ramificação; g) índice de *Platt*: mostra o somatório do grau de todos os vértices adjacentes, ou seja, o grau da rede levando em consideração apenas as empresas que participam do leilão e os montantes negociados; e h) *Relinking*: é um índice que apresenta uma medida de reassociação entre o comércio das empresas, considerando o número de empresas participantes, das empresas que negociam no leilão, as que realizam poucos negócios e o número total de empresas. Sendo assim, é possível observar as características de cada tipo de leilão.

A partir dos desenhos das redes obtidas é possível observar o comportamento dos agentes nos leilões. As FIG. 6-9 mostram os leilões de ajuste e se observa que os primeiros considerados são os que mais envolvem agentes nas negociações. À medida que os mesmos vão ocorrendo esta quantidade diminui. No 10º e 11º leilões é possível observar que os principais compradores são distribuidores, apresentando grande importância sobre as negociações. Ainda, é possível observar que os agentes compradores tendem a negociar com os mesmos agentes vendedores, ou seja, se observa a manutenção de algumas empresas no 11º leilão de ajuste vendendo energia para os mesmos distribuidores. Já no 12º leilão há um comportamento diferente, pois há apenas quatro agentes envolvidos na negociação sendo apenas um comprador, que por sua vez é um distribuidor.

Em relação aos leilões de energia existente se observa que o número de agentes aumentou, sendo que apenas um agente manteve sua participação nos leilões, ou seja, a rede formada a partir do 10º leilão de energia existente possui uma composição diferente da rede do leilão anterior. As negociações envolvem principalmente agentes distribuidores, sendo estes os principais compradores de energia. Entre os vendedores destacam-se os geradores, comercializadores, e apenas um produtor independente.

Os leilões de energia nova apresentam um comportamento semelhante no que diz respeito à disposição dos agentes nas redes. Nestes leilões se observa que a quantidade de

agentes responsáveis pela venda é mínima, ou seja, apenas um ou dois agentes realizam as vendas de energia. É possível observar que os agentes compradores são na maioria dos casos distribuidores e os vendedores são geradores e produtores independentes.

Todos os padrões e características observados podem ser verificados a partir dos índices calculados. Sendo assim, através dos Quadros 6, 7 e 8 é possível que se verifiquem as características, baseadas apenas nos desenhos das redes, que foram discutidas. Considerando os leilões de ajuste, a partir do Quadro 6, é possível observar que o 10º leilão apresenta o maior índice de adjacência, ou seja, é a rede que apresenta a maior quantidade de ligações entre os agentes. Não restrito apenas ao índice de adjacência, esta quantidade significativa de ligações entre os agentes são refletidas nos demais índices, principalmente nos índices de *Zagreb 1 e 2*, pelo fato de levarem em consideração o grau de cada vértice. A conectividade entre os agentes também foi a maior, além da maior densidade obtida. O índice de *Relinking* por ser negativo mostra que os agentes envolvidos no 10º leilão de ajuste podem apresentar comportamento distinto em situações adversas, como alterações de preços ou mudanças nas regras dos leilões. Já o índice de *Platt*, foi o maior entre todos os leilões considerados, representando as intensas negociações e montantes significativos envolvidos nas relações entre os compradores e vendedores.

Em contrapartida, o 12º leilão de ajuste apresentou comportamento distinto em comparação com os demais leilões considerados. Este apresentou o menor índice de adjacência, refletindo a baixa densidade e baixa conectividade entre os agentes. Em relação ao 11º leilão de ajuste destacam-se os índices de *Zagreb* devido ao elevado grau entre os agentes e o índice de *Relinking* indicando a existência de um padrão de ligação entre os agentes. Já o 13º leilão é caracterizado pelas estreitas relações entre comercializadores e distribuidores, fato refletido no índice de *Relinking*.

O 10º leilão de energia existente (Quadro 7) apresenta um maior índice de adjacência em relação ao leilão anterior, fato que era esperado conforme a observação das redes. A alteração na composição da rede, a princípio, não afetou o valor dos índices calculados, mas se observa uma maior conectividade entre os agentes, destacando-se os maiores montantes negociados, através do índice de *Platt* no 10º leilão em comparação com o 9º leilão.

O 11º leilão de energia nova por envolver dois vendedores apresentou uma densidade maior, fato comprovado a partir do índice de adjacência observado no Quadro 8. Apresenta ainda maior densidade em comparação com os demais leilões de energia nova. Uma vez que este apresenta o maior índice de adjacência, observa-se que os demais índices calculados também foram superiores (Quadro 8). O 12º e 13º leilões apresentam índices próximos por

terem um índice de adjacência semelhante. O índice de *Relinking* para os leilões de energia nova são negativos e próximos de zero, mostrando que os agentes interagem buscando os melhores resultados individualmente, sendo que uma possível reassociação entre eles é mais difícil dados os valores observados.

Em relação às estimações através da regressão QAP, os Quadros 2-5 apresentam os valores dos coeficientes para cada regressão obtida a partir dos tipos de leilões considerados, distinguindo-se pelo método de estimação utilizado. Para os leilões de ajuste, tomando-se o 11º leilão como dependente da ocorrência do 10º leilão, é possível afirmar que para o método de permutação da variável explicada, isto é, permutação dos agentes do 11º leilão, a incerteza sobre os lances é reduzida em aproximadamente 15%. A possibilidade de ocorrência de transações entre dois agentes no 11º leilão, pelo método de permutação da variável explicada, é de aproximadamente 34%, fato observado no Quadro 2 a partir do valor do coeficiente e do  $R^2$ . Isto explica que os lances vencedores foram 34% baseados nos procedimentos adotados no leilão anterior.

Quando se considera o 12º leilão como variável dependente, considerando-se o método de permutação da variável dependente, a redução de incerteza é de pouco mais de 1% e apenas 2,7% dos lances vencedores foram baseados nos procedimentos do 11º leilão. A redução no valor das estatísticas pode ser efeito da redução significativa de agentes que ocorre no 12º leilão de ajuste, já que esta rede é composta apenas por quatro agentes. Quando o 12º leilão é considerado como variável independente os resultados obtidos foram não significativos, sendo que este resultado não se restringe ao método de permutação da variável dependente. O resultado foi não significativo para todos os métodos considerados. Para os métodos de parcelamento total, semi-parcelamento e semi-parcelamento duplo de *Dekker* as probabilidades de uma nova realização foram as mesmas.

Considerando-se os demais métodos de estimações em relação aos leilões de ajuste, mais especificamente quando se considera o 10º leilão como variável independente, se observa que o valor do coeficiente obtido foi o mesmo independente do método considerado. Logo, a possibilidade de ocorrência de novas transações entre os agentes, dadas às ocorrências no leilão anterior, se mantém como aproximadamente 34%.

Os Quadros 2-5, independente do método de estimação, apresentaram estatísticas não significativas para os coeficientes referentes às regressões obtidas a partir dos dados considerados dos leilões de energia existente e de energia nova. Não se sabe ao certo o motivo desta ausência de significância das estatísticas, sendo este um resultado não esperado. A redução da amostra de agentes considerados neste trabalho teve o objetivo de evitar que

resultados não significativos surgissem. Mesmo com a redução da amostra, a ausência de significância dos coeficientes supostamente refletiria a não observação de um impacto de um leilão ocorrido anteriormente sobre o seguinte, ou seja, é possível argumentar que os agentes não observam o comportamento e o desenvolvimento do leilão anterior. A obtenção destes resultados não necessariamente indica ausência de informações ou de interesse dos agentes nos leilões ocorridos anteriormente, sendo que outros fatores podem ser responsáveis por estes resultados.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todas as mudanças pelas quais o setor elétrico nacional passou permitiu a criação de novas formas de comercialização e negociação de energia. Considerando apenas a energia hidroelétrica, fonte predominante no Brasil, é possível observar que as empresas agem de forma a maximizar seus ganhos ao participar dos leilões de energia propostos pelo órgão responsável – a CCEE. A teoria dos leilões permite às empresas atingir esse objetivo considerando as regras dos leilões, além de que os leilões internacionais discutidos, mesmo não sendo referentes ao mesmo setor, mostram as experiências de outros países e possíveis estratégias tanto para os participantes como para os organizadores dos leilões. A teoria dos grafos apresenta as principais definições para que a estrutura de uma rede possa ser interpretada, juntamente com a metodologia de redes e jogos que permite estudar as relações estabelecidas entre as empresas considerando tarifas e intermediadores, como realmente ocorre.

O Novo Modelo implementado para a reestruturação do setor elétrico brasileiro trouxe alterações significativas para o mercado, principalmente através da divisão dos ambientes de negociação, sendo o Ambiente de Contratação Regulada a principal fonte de estudo deste trabalho, onde ocorrem os leilões. Não apenas restrito à energia de fonte hidro, o Brasil apresenta diversas outras fontes de energia que estão presentes nos demais tipos de leilões, mas a sua participação no mercado, no que diz respeito a sua capacidade de geração, é muito pequena se comparado aos leilões de energia hidrelétrica.

A ausência dos leilões ocorrido antes de 2010 também pode ter influenciado os resultados, uma vez que no caso dos leilões de energia existente considerou-se apenas o 9º e o 10º leilão. Conforme argumentado, a lista de agentes que compõem o mercado é dinâmica, além de que vários leilões deixaram de acontecer devido a não existência de compradores entre outros fatores. A ocorrência de situações como esta destacam ainda, de certo modo, possíveis falhas no desenho do leilão.

Embora a maioria dos leilões considerados tenha apresentado baixa densidade, conforme observado visualmente, o 10º leilão de ajuste e o 11º leilão de energia nova, respectivamente, evidenciam uma elevada densidade em função no maior volume de transações realizadas nos leilões especificados. A principal informação obtida nos Quadros 6-8 é referente ao índice de conectividade de *Randic* o qual aponta os leilões de ajuste, com exceção do 12º leilão, e os leilões de energia nova como causadores da maior conectividade entre os agentes das redes.

A participação dos agentes considerados em relação ao total que compõe o mercado é muito pequena, fato que justifica a redução da amostra. A possível consideração de todos os agentes que compõe o mercado poderia inviabilizar a análise, uma vez que poderia apresentar valores dos índices de conectividade, graus e ligações muito menores dos que os observados. Em relação aos agentes participantes se observa um padrão de agentes que participam como compradores, ou seja, a grande maioria dos agentes que compram energia elétrica nos leilões são distribuidores, havendo apenas um agente classificado como consumidor especial.

As regressões obtidas foram na maioria dos casos não significativas, sendo que apenas para os leilões de ajuste foi possível observar certa influência de um leilão no outro. As experiências internacionais mostram o desenvolvimento e aplicação dos leilões nos diversos mercados alertando para comportamentos diferenciados dos agentes do mercado nacional de energia elétrica, fatos que podem ter refletido nos resultados dos métodos da regressão QAP para os leilões de energia existente e energia nova. Portanto, a obtenção de coeficientes não significativos via regressão QAP se apresenta como uma limitação deste trabalho.

Identificadas às topologias dos leilões e verificadas a sua estrutura, observou-se pela regressão QAP que apenas os leilões de ajuste corroboram hipótese de intermediação no setor, pois foram as únicas ocorrências que apresentaram coeficientes de respostas significativos. Para os leilões de energia nova e de energia existente, a estrutura do mercado, bem como a ocorrência dos ciclos econômicos, acaba influenciando o comportamento dos agentes no mercado. Logo, a utilização da regressão QAP, que regrediu as redes tendo como variável explanatória as redes anteriores com ênfase na posição das empresas, não se apresentou como o esperado, mostrando que as aquisições dos leilões anteriores não são observadas.

Neste trabalho mostrou-se que, uma vez que as topologias das redes foram estimadas e a configuração das características das mesmas, através dos seus desenhos, evidenciadas, a intermediação no setor elétrico brasileiro tornou-se um importante instrumento de ajuste do mercado onde a participação nos leilões de energia existente pode ser considerada uma alternativa frente à participação nos leilões de ajuste, podendo também existir a estratégia de espera por participação nos leilões de energia nova, como se observa a partir das atividades dos mesmos agentes em diferentes leilões. Logo, a intermediação como instrumento de ajuste pareceu ser uma estratégia relevante para empresas conectadas no sistema. Ainda, o conhecimento da posição de cada agente na rede é importante, pois mostra a relevância das estratégias adotadas. Do ponto de vista da teoria dos leilões a correlação entre os leilões, quer seja de energia existente, energia nova, ou de ajuste, é fundamental para que tal relevância seja confirmada.

Observa-se, portanto, que o mercado de energia elétrica ainda busca certa consolidação através dos leilões, uma vez que alguns leilões ainda apresentam poucos agentes envolvidos nas negociações. A tendência é que cada vez mais agentes componham o mercado e sejam possíveis melhores estimativas sobre as redes geradas e sejam possíveis resultados mais condizentes com a influência da ocorrência de um leilão sobre o seguinte.



## REFERÊNCIAS

BATAGELJ, Vladimir; MRVAR, Andrej. **Analysis of Kinship Relations with PAJEK**. University of Ljubljana, Eslovênia. 2007.

BECH, Morten L.; ATALAY, Enghin. **The topology of the federal funds market**. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Elsevier, vol. 389(22), p 5223-5246. 2010.

BERNHEIM, B. Douglas; PELEG, Bezalel; WHINSTON, Michael D. **Coalition-Proof Nash Equilibria I: Concepts**, *Journal of Economic Theory*, v.42, p.1-12, 1987.

BERNHEIM, B. Douglas; WHINSTON, Michael D. **Coalition-Proof Nash Equilibria II: Applications**, *Journal of Economic Theory*, v.42, p.13-29, 1987.

CALVÓ-ARMENGOL, Antoni; JACKSON, Matthew O.; **The Effects of Social Networks on Employment and Inequality**. *American Economic Review*, Vol. 94, No. 3, 426-454. 2004.

CASTRO, Cristina Márcia Barros. **Estratégias de Contratações das Empresas Distribuidoras nos Leilões de Energia Elétrica**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal de Viçosa-MG, 100p. 2009.

CASTRO, Cristina Márcia Barros.; MARCATO, André Luís Marques; CHAVES, JR., Ivo; DIAS, Bruno; SILVA, JR., Geraldo Edmundo; OLIVEIRA, Edimar José. **Brazilian Energy Auctions Analysis Based on Evolutionary Algorithms**. IEEE Power Tech 2009-IEEEXplore. 28 de Junho a 2 de Julho, Bucarest - Romênia, 2009.

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Histórico do Setor Elétrico Brasileiro. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br>>, (capturado em 16 de abril de 2010).

CRAMTON, Peter. **The FCC Spectrum Auctions: An Early Assessment**. *Journal of Economics and Management Strategy*, 6:3, 431-495, 1997.

CRAMTON, Peter; WILSON, Robert. **A Review of ISO New England's Proposed Market**

**Rules**, © Market Design Inc., September 9, 1998.

DEKKER, David; KRACKHARDT, David; SNIJDERS, Tom A. B. **Sensitivity of MRAP Tests to Collinearity and Autocorrelation Conditions**. *Psychometrika*. Vol. 72, No. 4, Pag. 563–581. Dezembro, 2007.

EASLEY, David; KLEINBERG, Jon. **Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World**, Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

GALEOTTI, Andrea; GOYAL, Sanjeev; JACKSON, Matthew O.; VERA-REDONDO, Fernando; YARIV, L. **Network Games**. *Review of Economic Studies*, v.77, n.1, pp.218-244, Jan 2010.

GROSS, Jonathan L. YELLEN, Jay. **Fundamentals of Graph Theory**, *in*: Jonathan GROSS e Jay YELLEN (ed.'s), *Handbook of Graph Theory*, Kindle Edition, Boca Raton: CRC Press, pp.2-19, 2007.

HART, Sergiu; KURZ, Mordecai. **Endogenous Formation of Coalitions**. *Econometrica*, v.51, n.4, p.1047-1064, Julho 1983.

IOANNIDES, Yannis M.; LOURY Linda Datcher. **Job Information Networks, Neighborhood Effects, and Inequality**. *Journal of Economic Literature*, American Economic Association, vol. 42(4), pag. 1056-1093, Dezembro 2004.

JACKSON, Matthew O.; **A Survey of Network Formation Models: Stability and Efficiency**, *in*: DEMANGE, Gabrielle; WOODERS, Myrna H.; *Group Formation in Economics: Networks, Clubs, and Coalitions*, Cambridge: Cambridge University Press, p.11-57, 2005.

JACKSON, Matthew O. **The Economics of Social Networks**, *in*: Richard BLUNDELL, Whitney NEWEY, Torsten PERSSON (ed.'s), *Advances in Economics and Econometrics, Theory and Applications: Ninth World Congress of the Econometric Society*, Cambridge, Cambridge University Press, 2006.

KLEMPERER, Paul. **Auctions: Theory and Practice**. Princeton: Princeton University Press, 246p., 2004

KLEMPERER, Paul. **How (Not) to Run Auctions: the European 3G Telecom Auctions**. European Economic Review, 2002.

KOVACEVIC, Goran; MILICEVIC, Ante; NIKOLIC, Sonja; TRINAJSTIC, Nenad. **The Zagreb Index 30 Years After**. The Rugjer Boskovic Institute, Zagreb. Croácia, 2003.

KRACKHARDT, David. **QAP Partialling as a Test of Spuriousness**. Social Networks, 9 Pag. 171-186. 1987.

KRACKHARDT, David. **Predicting with Networks: A Multiple Regression Approach to Analyzing Dyadic Data**. Social Networks, 10 (Dezembro): Pag. 359-381. 1988.

KRISHNA, Vijay. **Auction Theory**. San Diego: Academic Press, 303p. 2002.

KRISHNA, Vijay. **Auction Theory 2ª Edição**. Academic Press/Elsevier, 2010.

LEIBON, Gregory.; PAULS, Scott; ROCKMORE, Daniel; SAVELL, Robert. **Topological Structures in the Equities Market Network**. Proceedings of National Academy of Science – PNAS Vol. 105, No 52. Dezembro 2008.

MCGRATH, Cathleen; KRACKHARDT, David. **Network Conditions for Organizational Change**. Journal of Applied Behavioral Science. Vol. 39 N.3 Pag:324-336. 2003.

MILGROM, Paul. **Putting Auction Theory to Work**. Reprint, New York: Cambridge University Press, 368p, 2005.

MYERSON, Roger B. Graph and Cooperation in Games: Mathematics of Operations Research, v.2, p.225-229, 1977.

ONNELA Jukka-Pekka; CHAKRABORTI, Anirban; KANTO, Antti; KASKI Kimo; KERTÉSZ János. **Asset trees and asset graphs in financial markets**. *Physica Scripta* 106, 48. 2003.

ONNELA Jukka-Pekka; CHAKRABORTI, Anirban; KANTO, Antti; KASKI Kimo; KERTÉSZ János. **Dynamics of market correlations: Taxonomy and portfolio analysis**. *Physical Review E* 68 2003.

OSBORNE, Martin J.; RUBINSTEIN, Ariel. **A Course in Game Theory**. Cambridge: The MIT Press, 352p., 1994.

QIAO, Shen Ning. **On The Zagreb Index Of Quasi-Tree Graphs**. *Applied Mathematics E-Notes*, 2010.

RAY, Debraj; VOHRA, Rajiv. **A Theory of Endogenous Coalition Structures**. *Games and Economic Behavior*, v.26, p.286-336, p.286-336, 1999.

RAY, Debraj; VOHRA, Rajiv. **Coalitional Power and Public Goods**. *Journal of Political Economy*, v. 109, n.6, p.1355-1384, 2001.

SIMPSON, William B.; QAP. **The Quadratic Assignment Procedure**. *Paper* apresentado em North American Stata Users' Group Meeting, Março 20–21, 2001.

## APÊNDICE

### A – TEORIA DOS LEILÕES

A origem da teoria dos leilões é desconhecida, alguns autores, ver Krishna (2002) e Klemperer (2004), citam o Império Babilônico, 500 A.C., como um período em que o uso dos leilões era comum. Da mesma forma no ano 300 A.C. os leilões, também, eram utilizados no Império Romano.

Sua utilização enquanto instrumento envolve duas questões relevantes: a primeira delas versa sobre o ponto de vista dos vendedores e, a segunda, sobre o ponto de vista dos compradores nas negociações em mercados. A vasta literatura contempla seções de livros-textos de teoria dos jogos como Osborne e Rubinstein (1994) e livros-textos específicos sobre o tema como Krishna (2002), Klemperer (2004) e Milgrom (2005).

As formas gerais de leilões são agregadas em dois tipos, a saber: (i) leilões abertos (*dutch auction*<sup>8</sup> (*open descending price*) e *english auction*<sup>9</sup> (*open ascending price*)); e leilões fechados (*First Price Sealed Auction-FPSA*<sup>10</sup> e *Second Price Sealed Auction-SPSA*<sup>11</sup>). Há uma equivalência forte entre o leilão holandês e o FPSA e uma equivalência fraca entre o leilão inglês e o SPSA.

Então, no desenho de leilões para quaisquer mercados o principal *trade-off* no desenho de leilões é entre a receita e a eficiência. Então, as estratégias nas escolhas dos lances e no estabelecimento dos preços mínimos ou máximos são fundamentais para que o *trade-off* seja satisfeito.

Como exemplo de um leilão de primeiro preço simples, sob condição de simetria, Krishna (2002) estabelece como elementos essenciais de um leilão as características seguintes:

- a) um objetivo simples;
- b)  $N$  participantes ou jogadores;
- c)  $X_i$  = avaliação do objeto pelo  $i$ -ésimo jogador;
- d)  $X_i \sim i. i. d, X_i \in [0, w]$ ;
- e)  $\sim F$ , função de distribuição, “conhecimento comum”; e
- f) função de lucro, ou *pay-off*, do  $i$ -ésimo jogador.

---

<sup>8</sup> Leilão holandês.

<sup>9</sup> Leilão inglês.

<sup>10</sup> Leilão de Envelope Fechado Primeiro Preço.

<sup>11</sup> Leilão de Envelope Fechado Segundo Preço.

$$\Pi_i = \begin{cases} x_i - b_i, & b_i > \max_{i \neq j} b_j \\ 0, & b_i < \max_{i \neq j} b_j \end{cases} \quad (1A)$$

A equação de *pay-off*, equação (1A), impõe a restrição de que, no equilíbrio estratégico, o lance do  $i$ -ésimo jogador, lance  $\beta$ , será dado por  $\beta^i = \beta, b > \beta(w)$ . Logo, o jogador representativo “jogador 1” vencerá o leilão sempre que:

$$\max_{i \neq 1} \beta(X_i) < b \quad (2A)$$

Assim, o lance  $\beta$  é crescente  $\Rightarrow \max_{i \neq 1} \beta(X_i) = \beta(\max_{i \neq 1} X_i) = \beta(Y_1), \beta(Y_1) < b \Rightarrow \beta^{-1}(b) = Y_1$ . Portanto, uma equação (3A) será definida como:

$$G(\beta^{-1}(b))(x - b) = 0 \quad (3A)$$

em que:

$G$  = distribuição de  $Y_1$ .

Maximizando-se a equação (3A) em relação ao lance  $b$ , observando-se a regra da cadeia para funções compostas e a regra para funções inversas, tem-se:

$$-G(\beta^{-1}(b)) + (x - b)g(\beta^{-1}(b))\beta'(\beta^{-1}(b)) = 0 \quad (4A)$$

Após alguma manipulação algébrica, resulta a equação (5A), a seguir:

$$\begin{aligned} \frac{g(\beta^{-1}(b))}{\beta'(x)}(x - \beta(x)) - G(x) &= 0 \rightarrow g(x)x - g(x)\beta(x) = G(x)\beta'(x) \rightarrow \\ \rightarrow g(x)\beta(x) + G(x)\beta'(x) &= g(x)x \\ \frac{d}{dx}(G(x)\beta(x)) &= xg(x) \end{aligned} \quad (5A)$$

Integrando-se a equação (5A), obtém-se:

$$\int_0^x \frac{d}{dx}(G(x)\beta(x)) = \int_0^x yg(y)dy \rightarrow \frac{1}{G(x)} \int_0^x yg(y)dy = E[Y_1 | Y_1 < x] \quad (6A)$$

Com a integração do lance em relação a distribuição dos lances, o lucro do lance e da avaliação do objeto pode ser especificado como a equação (7A):

$$\begin{aligned} \Pi(b, x) = G(x)[x - \beta(x)] \rightarrow \\ \rightarrow \Pi(\beta(x), x) - \Pi(\beta(x), x) = G(x)(z - x) - \int_x^z G(y)dy \geq 0 \end{aligned} \quad (7A)$$

No equilíbrio entre as estratégias dos jogadores o lance ótimo do jogador 1 será dado pela equação (8A), a seguir:

$$\beta^I(x) = x - \int_0^x \frac{G(y)}{G(x)} dy \quad (8A)$$

Com lances ótimos é possível determinar o curso do vencedor em um leilão do primeiro preço.

No caso dos leilões de segundo preço de um objeto, sob condições de simetria, em que todos os jogadores têm conhecimento comum, os elementos essenciais para a realização do leilão seriam os seguintes:

- a) um objetivo simples;
- b)  $N$  participantes ou jogadores;
- c)  $X_i$  = avaliação do objeto pelo  $i$ -ésimo jogador;
- d)  $X_i \sim i. i. d, X_i \in [0, w]$ ;
- e)  $\sim F$ , função de distribuição, “conhecimento comum”;
- f)  $F' = f$ , função densidade de probabilidade; e
- g) função de lucro, ou *pay-off*, do  $i$ -ésimo jogador.

$$\Pi_i = \begin{cases} x_i - \max_{i \neq j} b_j, & b_i > \max_{i \neq j} b_j \\ 0, & b_i < \max_{i \neq j} b_j \end{cases} \quad (9A)$$

A diferença crucial entre o leilão do primeiro preço e o leilão do segundo preço é que o vencedor paga o segundo maior lance, logo a vantagem do leilão do segundo preço é que ele revela a verdadeira avaliação que o jogador faz do objeto leiloado.

Embora alguma vantagem possa ser verificada para o leiloeiro ou vendedor, o teorema do rendimento equivalente estabelece que quando os sinais dos participantes do leilão são independentes, em modelos de valor privado e modelos mais gerais de valor comum, sob certas condições iniciais estabelecidas o *FPSA* e o *SPSA* produzem o mesmo rendimento esperado. Tal resultado é baseado no Teorema do Rendimento Equivalente (TRE). Para se provar o teorema é necessário o conjunto de informações seguintes:

- a)  $N$  competidores;
- b) um objeto simples;
- c)  $v_i$  = valor do objeto para o  $i$ -ésimo participante;
- d)  $v_i$  é conhecimento comum,  $v_i \in F(v)$ ;
- e)  $F(v)$  é a distribuição dos valores,  $F(v)$  em  $[\underline{v}, \bar{v}]$ ;
- f) limites de  $F(v) = [F(\underline{v}) = 0, F(\bar{v}) = 1]$ ;

- g)  $f(v)$  é a densidade de  $F$ ; e,  
 h) os participantes são neutros ao risco.

O mecanismo para o desenho do leilão é baseado no valor esperado do  $i$ -ésimo participante como uma função do seu tipo  $v$ , definido como  $S_i(v)$ . Como a probabilidade de aquisição do objeto no equilíbrio é dada por  $P_i(v)$ , a definição do pagamento pelo tipo de jogador é especificado como:

$$S_i(v) = vP_i(v) - E \quad (10A)$$

em que:

$E$  = pagamento pelo tipo.

Considerando-se o tipo de jogador  $\tilde{v}$  seguido no equilíbrio do jogo induzido pelo mecanismo a probabilidade de aquisição do objeto será definida como:

$$S_i(v) \geq S_i(\tilde{v}) + (v - \tilde{v})P_i(\tilde{v}) \quad (11A)$$

Se  $v = \tilde{v}$ ,  $v$  obtém a mesma utilidade que  $\tilde{v}$  e obteria  $S_i(\tilde{v})$  como excedente.

Assim, a probabilidade do tipo  $\tilde{v}$  vencer o objeto será dada por  $P_i(\tilde{v})$ . Com tal probabilidade, o jogador  $v$  avalia o objeto  $(v - \tilde{v})$  a mais que  $\tilde{v}$  o faz, e obtém excedente de  $P_i(\tilde{v})(v - \tilde{v})$  a mais do que  $\tilde{v}$ .

Um desvio no tipo do jogador pode ser representado por  $v \rightarrow v + dv$ . Logo, o seu efeito na probabilidade de aquisição do objeto leilado seria:

$$S_i(v) \geq S_i(v + dv) + (-dv)P_i(v + dv) \quad (12A)$$

Fazendo  $\tilde{v} = v + dv$ , a probabilidade ajustada seria:

$$S_i(v + dv) \geq S_i(v) + (dv)P_i(v) \quad (13A)$$

Utilizando-se o Teorema do Valor Médio para derivadas, tem-se:

$$P_i(v + dv) \geq \frac{S_i(v+dv) - S_i(v)}{dv} \geq P_i(v) \quad (14A)$$

Aplicando-se o limite para  $dv \rightarrow 0$ :

$$\lim_{dv \rightarrow 0} P_i(v + dv) \geq \lim_{dv \rightarrow 0} \frac{S_i(v+dv) - S_i(v)}{dv} \geq P_i(v) \quad (15A)$$

O resultado seria:

$$P_i(v) \geq \frac{dS_i(v)}{dv} \geq P_i(v) \quad \therefore \frac{dS_i}{dv} = P_i(v) \quad (16A)$$

Com a integração do último resultado, tem-se:

$$S_i(v) = S_i(\underline{v}) + \int_{x=\underline{v}}^v P_i(x) dx \quad (17A)$$

Para outros mecanismos factíveis,  $S_i(\underline{v})$  e  $P_i(v)$ ,  $\forall v$  e  $\forall i$ . Observa-se que os jogadores têm as mesmas funções sobre o tipo inicial  $S_i(\underline{v})$ , com jogadores neutros ao risco.

Dado o tipo  $v$ , o  $i$ -ésimo jogador faz os mesmos pagamentos esperados em cada um dos dois mecanismos, desde que:

$$S_i(v) = vP_i(v) - E \quad (18A)$$

em que:

$E$  = pagamento pelo tipo  $v$ , desde que neutros ao risco.

Logo, o pagamento médio do  $i$ -ésimo jogador ente os diferentes tipos  $v$ 's é, também, o mesmo em ambos os mecanismos. Dado que o argumento seja verdadeiro para todos os participantes, os mecanismos geram o mesmo rendimento esperado para o leiloeiro.

De posse de tal estrutura, então, o conhecimento da estrutura da rede e dos mecanismos de leilões praticados entre os agentes do mercado de energia formam o núcleo para a compreensão e análise da dinâmica do mercado.



**ANEXO**  
**A – AGENTES**

<b>Número</b>	<b>Nome</b>	<b>Sigla</b>	<b>Tipo</b>
50	AES SUL	"AESS"	Distribuidor
20	ALCOA	"ALC"	Autoprodutor
58	AMAZONAS	"AM"	Consumidor Especial
67	AMAZONAS ENERG	"AME"	Distribuidor
69	AMPLA	"AMP"	Distribuidor
43	BANDEIRANTE	"BND"	Distribuidor
23	BEVAP	"BVP"	Produtor Independente
6	BIO ENERGIAS	"BIO"	Comercializador
15	BRASIL COM	"BR"	Comercializador
5	BTG PACTUAL	"BTG"	Comercializador
52	CAIUA DISTRIB	"CAIUA"	Distribuidor
59	CEA	"CEA"	Distribuidor
60	CEAL	"CEAL"	Distribuidor
61	CEB DISTRIBUIC	"CEB"	Distribuidor
42	CEEE DISTRIB	"CEEED"	Distribuidor
24	CEEE-GT	"CEEEG"	Gerador
62	CELESC DIST	"CLSD"	Distribuidor
16	CELESC GERA	"CLSG"	Gerador
35	CELG	"CLG"	Distribuidor
45	CELPA	"CLP"	Distribuidor
51	CELPE	"CLPE"	Distribuidor
46	CELTINS	"CLTN"	Distribuidor
70	CEMAR	"CMR"	Distribuidor
26	CEMIG	"CMG"	Distribuidor
48	CEMIG DISTRIB	"CMGD"	Distribuidor
8	CEMIG GERACAO	"CMGG"	Gerador
63	CEPISA	"CPS"	Distribuidor
11	CHESF	"CHF"	Gerador
64	CNEE	"CNEE"	Distribuidor
55	COELBA	"CLB"	Distribuidor
47	COELCE	"CLC"	Distribuidor
19	COENERGY	"COEN"	Comercializador
3	COMERC	"CMRC"	Comercializador
33	COPEL DISTRIB	"CPLD"	Distribuidor
56	COSERN	"CSN"	Distribuidor
12	CPFL BRASIL	"CPFL_BR"	Comercializador
71	CPFL JAGUARI	"CPFL_J"	Distribuidor
72	CPFL LESTE PTA	"CPFL_LPTA"	Distribuidor

73	CPFL MOCOCA	"CPFL_M"	Distribuidor
36	CPFL PAULISTA	"CPFL_PTA"	Distribuidor
37	CPFL PIRATINGA	"CPFL_PTG"	Distribuidor
38	CPFL STA CRUZ	"CPFL_STC"	Distribuidor
68	CPFL SUL PTA	"CPFL_SPTA"	Distribuidor
4	DELTA ENERGIA	"DLT"	Comercializador
13	DUKE PARANAPAN	"DKPR"	Produtor Independente
30	DVIX	"DVIX"	Gerador
22	ECOM	"ECOM"	Comercializador
53	EEB	"EEB"	Distribuidor
39	ELEKTRO	"ELKT"	Distribuidor
49	ELETROACRE	"ELTAC"	Distribuidor
14	ELETRONORTE	"ELNRT"	Gerador
57	ELETROPAULO	"ELTP"	Distribuidor
31	ENERGISA BO	"EGBO"	Distribuidor
40	ENERGISA MG	"EGMG"	Distribuidor
32	ENERGISA PB	"EGPB"	Distribuidor
65	ENERGISA SE	"EGSE"	Distribuidor
44	ENERSUL	"ENRS"	Distribuidor
1	ENERTRADE	"ENTRD"	Comercializador
29	ESBR	"ESBR"	Produtor Independente
66	ESCELSA	"ESLS"	Distribuidor
27	JESA	"JS"	Produtor Independente
21	LEROS ENERGIA	"LRSEN"	Comercializador
41	LIGHT	"LIGHT"	Distribuidor
10	MPX COM	"MPX"	Comercializador
2	NC ENERGIA	"NC"	Comercializador
54	PARANAPANEMA	"PRPN"	Distribuidor
17	QUANTA GERACAO	"QNTG"	Gerador
34	RGE	"RGE"	Distribuidor
9	SAFIRA COM	"SFR"	Comercializador
18	SEAL ENERGY	"SLE"	Comercializador
7	TEC	"TEC"	Comercializador
28	TELES PIRES	"TLPR"	Produtor Independente
25	TRADENER	"TRDN"	Comercializador